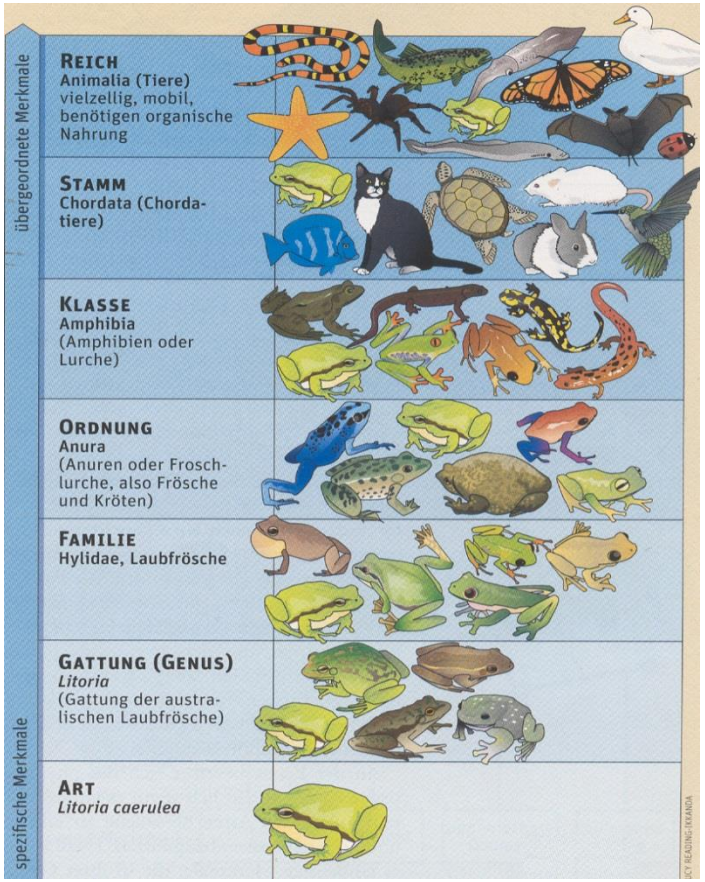
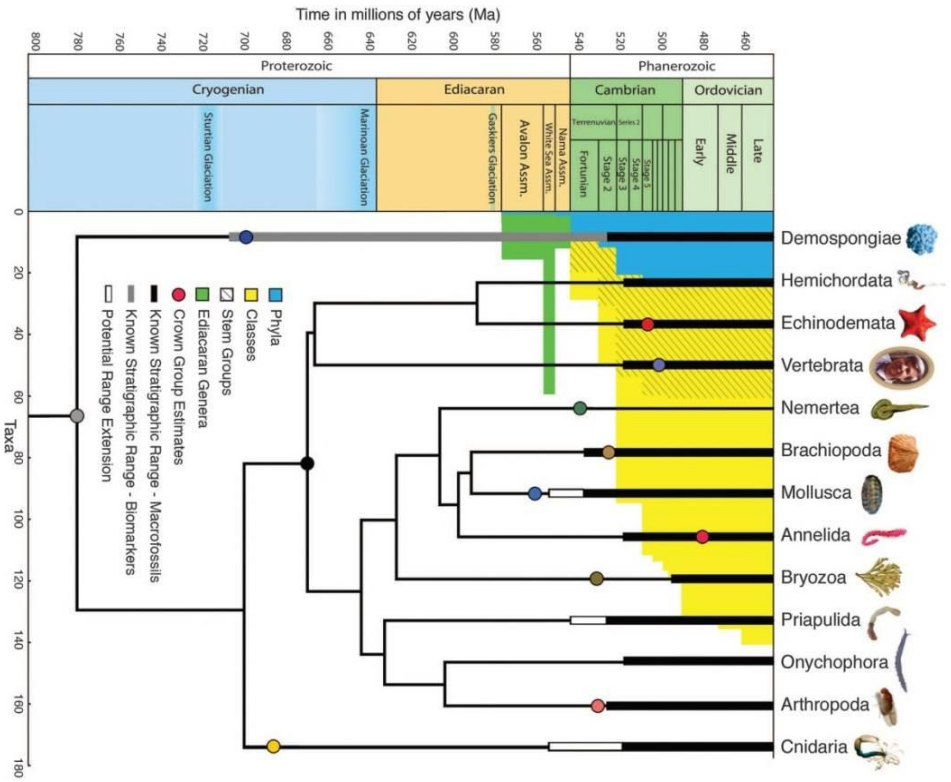
Systematische Zoologie
– oder Zoologische Systematik



- **eine Einführung ins Reich der Tiere**



Matthias Glaubrecht

CeNak
Centrum für Naturkunde

Systematische Zoologie

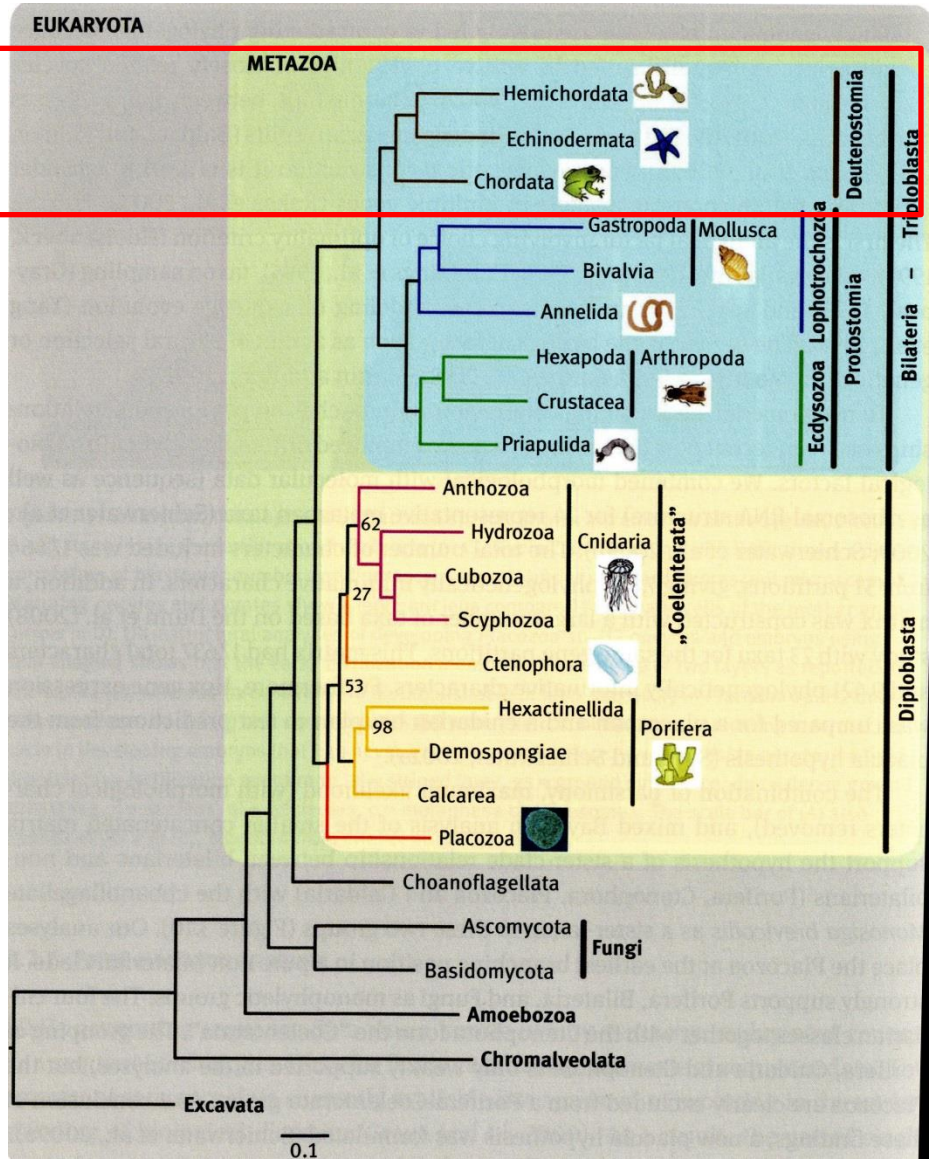
- **Die Vorlesung – *Was werden Sie hören ?***

Biodiversität der Tiere 9:45-11:15 Großer Hörsaal
61-011 Systematische Zoologie

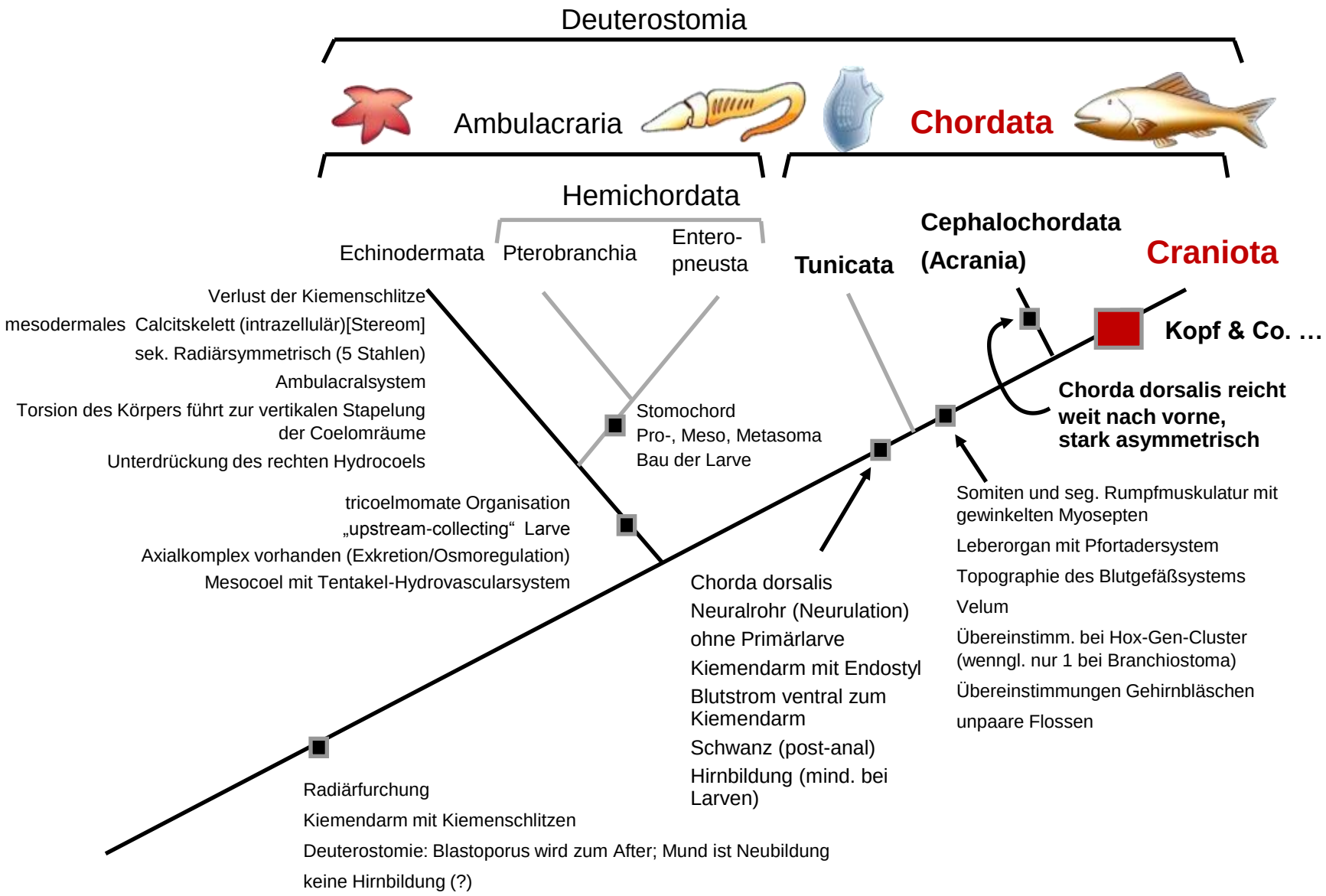
Termin	KW	Datum	Thema	
1	14	2. Apr.	Einführung Zool. Systematik, Protista	
2	15	9. Apr.	Einführung, Metazoa	
3	16	16. Apr.	Metazoa, Bilateria	Protostomia
4	17	23. Apr.	Platyzoa - Mollusca	
5	18	30. Apr.	Annelida - Nematoda	
6	19	7. Mai.	Ecdysozoa: Chelicerata	
7	20	14. Mai.	Crustacea	
		Christi Himmelfahrt 21. Mai		
8	22	28. Mai.	Myriapoda - Insecta	
		Pfingstunterbrechung 4. Juni		
9	24	11. Jun.	Deuterostomia, Echinodermata	Deuterostomia
10	25	18. Jun.	Acrania, Pisces - Amphibia	
11	26	26. Jul.	Reptilia - Aves	
12	27	02. Jul 20	Mammalia	
	30	24. Jul 20	Haupttermin (Freitag)	
	40	02. Okt 20	Wiederholungstermin (Freitag)	

Stammbaum der Metazoa – die „Neumünder"

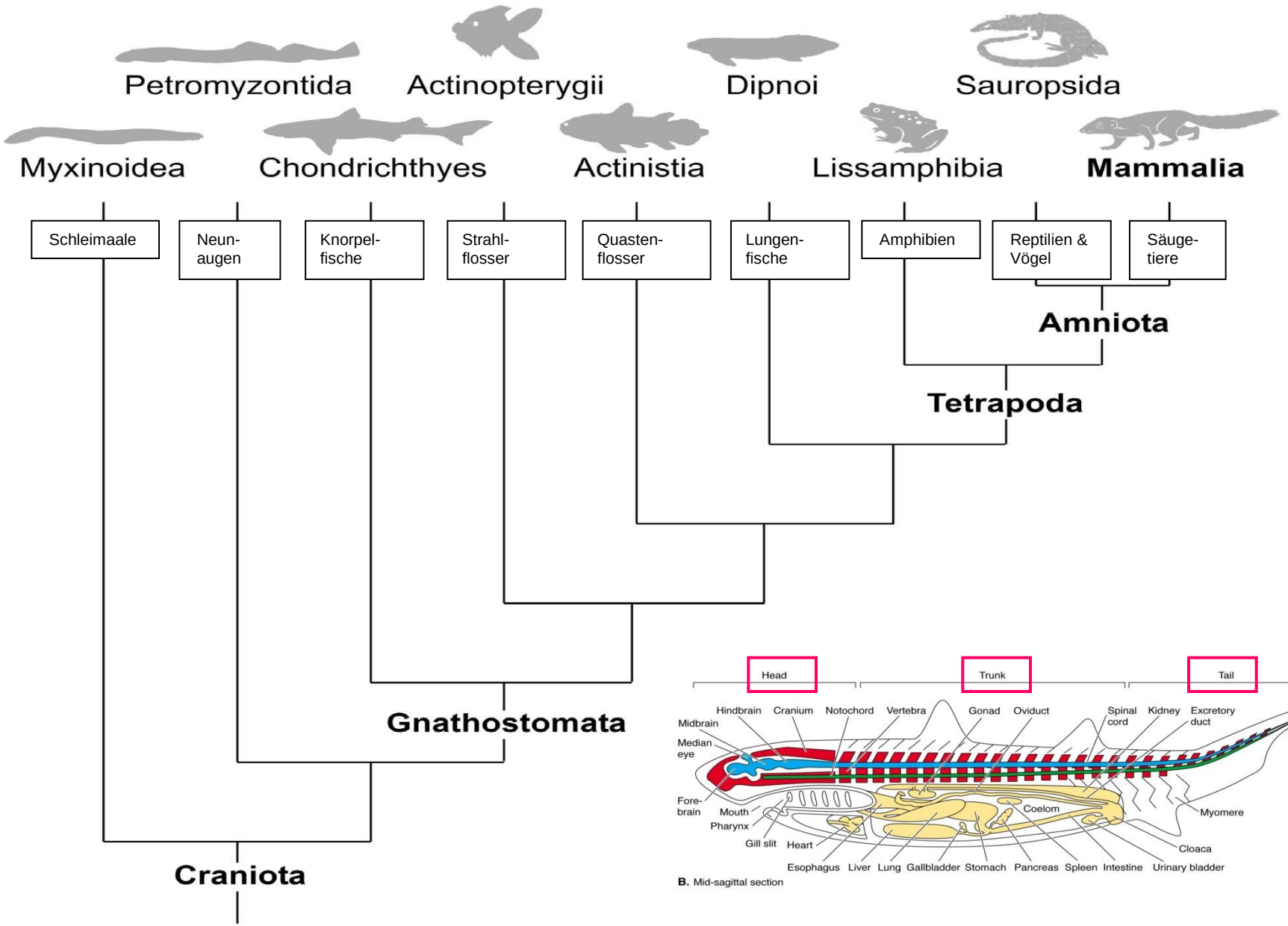
- **Deuterostomia**
  - **Chordata**



System der Deuterostomia („Neumünder")

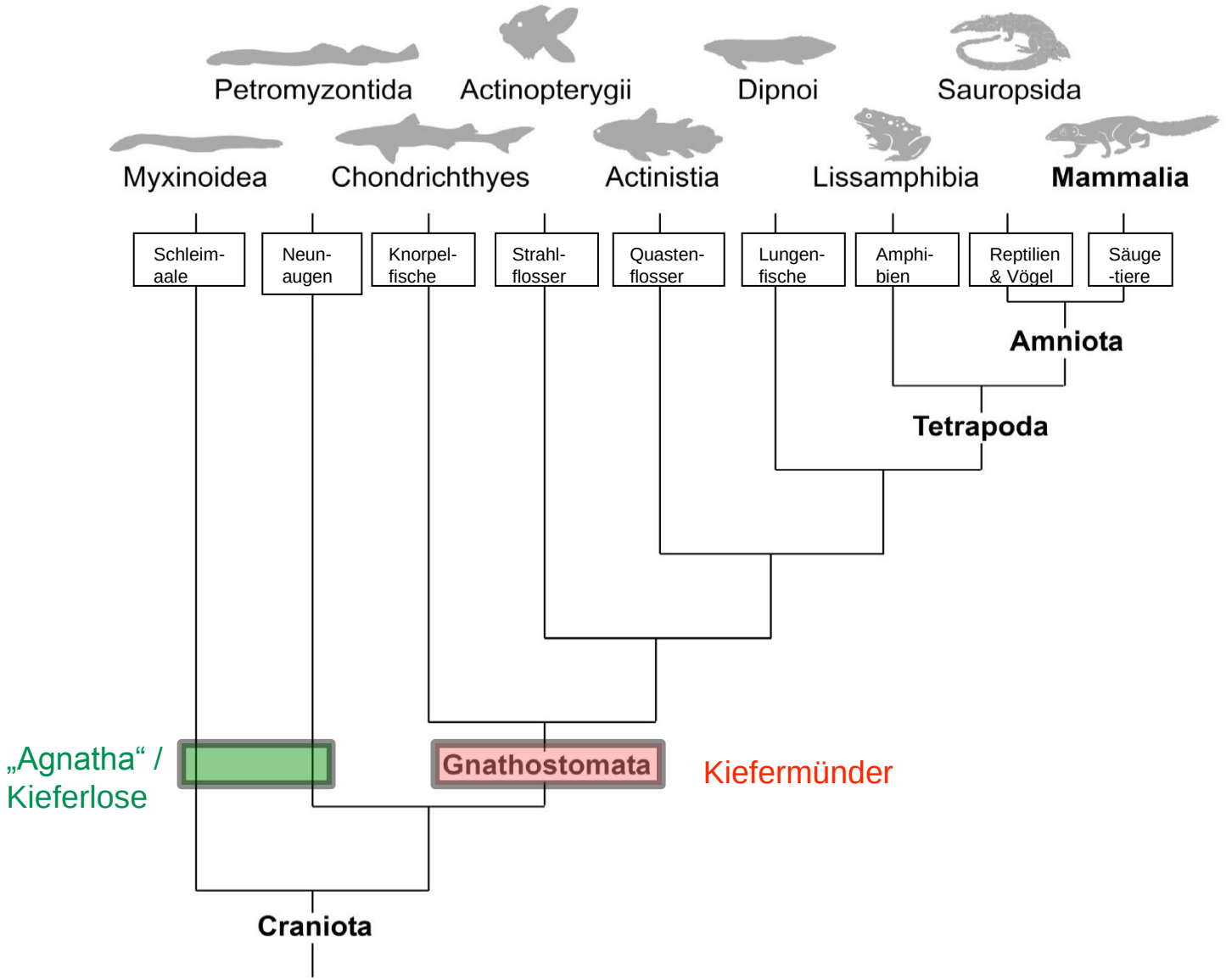


Craniota – Oder auch: Vertebrata = Wirbeltiere



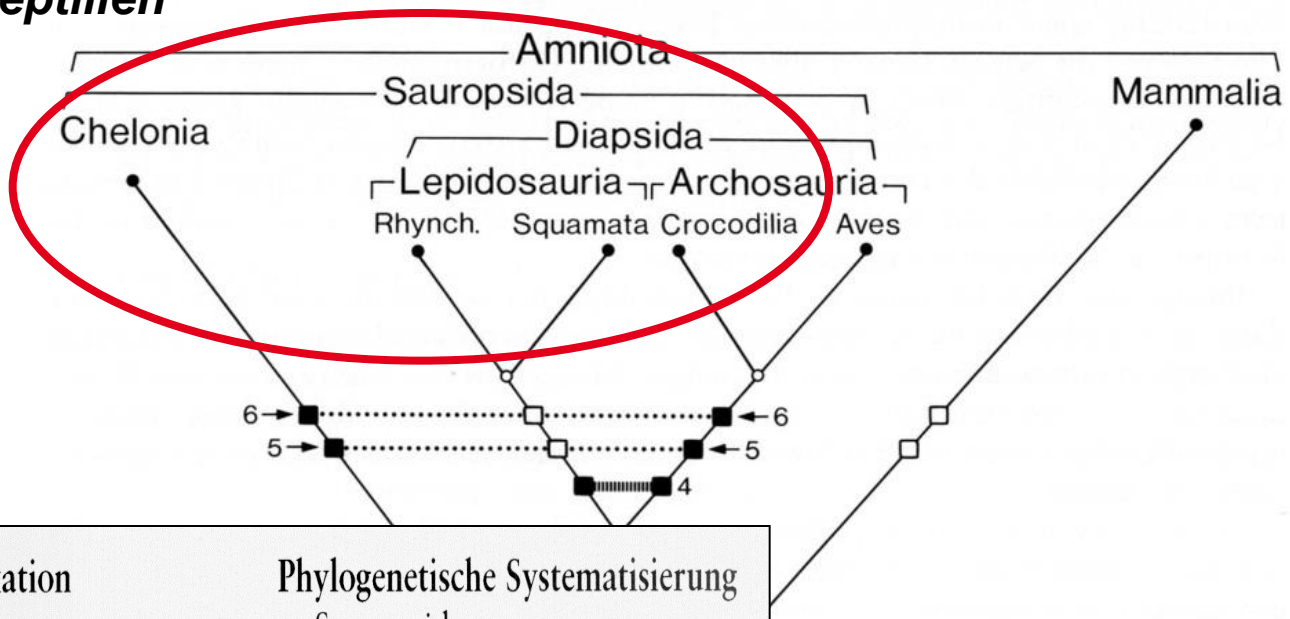
Craniota – Wirbel- oder Schädeltiere

- **„Agnatha“ & Gnathostomata**



Einführung in die phylogenetische Systematik

- ***„Der Tod der ‚Reptilien'***



Herkömmliche Klassifikation

1. Reptilia
   - 1.1. Chelonia
   - 1.2. Rhynchocephalia
   - 1.3. Squamata
   - 1.4. Crocodilia
2. Aves
3. Mammalia

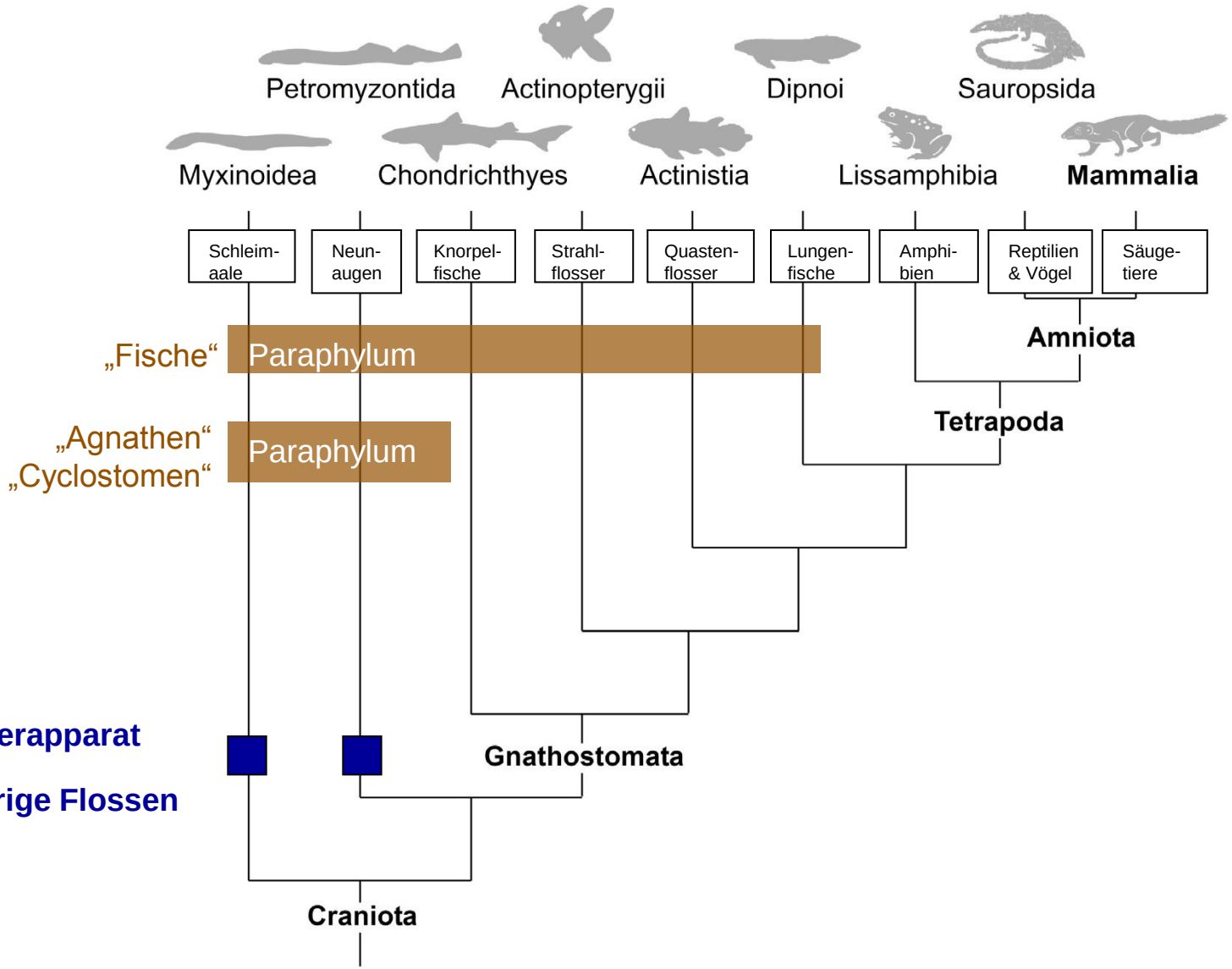
Paraphylie !

Phylogenetische Systematisierung

1. Sauropsida
   - 1.1. Lepidosauria
     - 1.1.1. Rhynchocephalia
     - 1.1.2. Squamata
   - 1.2. Archosauromorpha
     - 1.2.1. Chelonia
     - 1.2.2. Archosauria
       - 1.2.2.1. Crocodilia
       - 1.2.2.2. Aves
2. Mammalia

„Pisces" – Fische

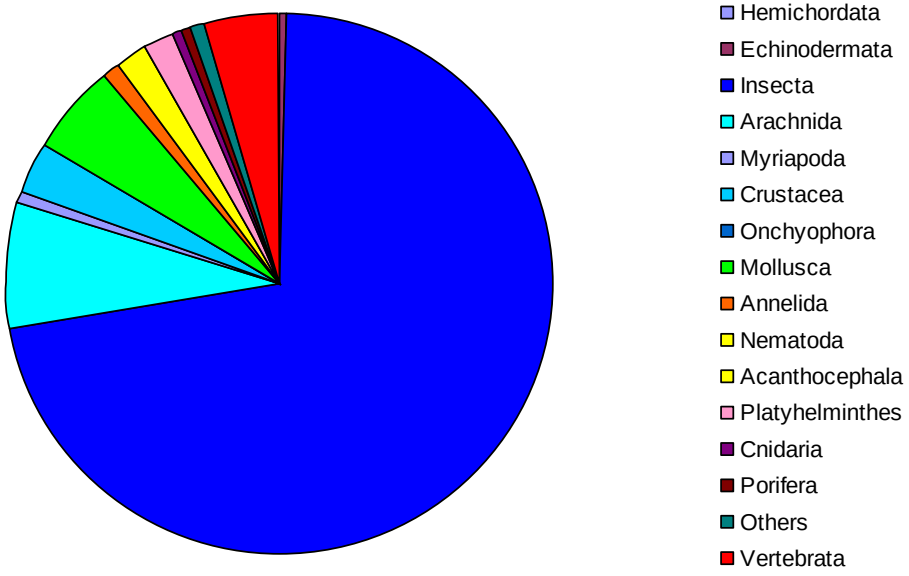
- **Vom Tod der Fische**



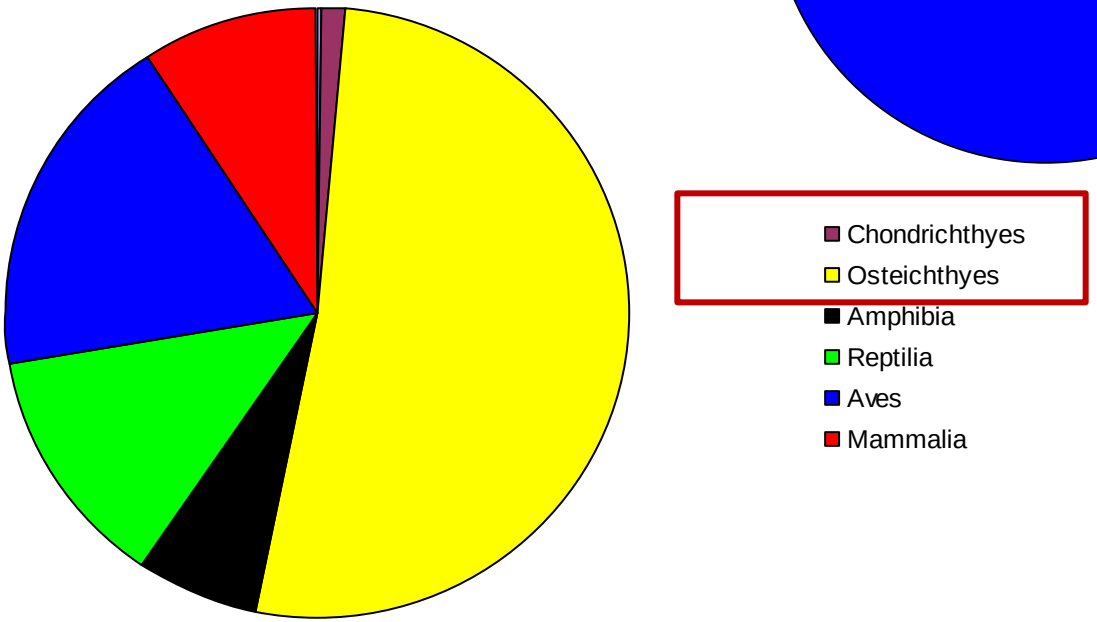
- **ohne Kieferapparat**
- **ohne paarige Flossen**

Biodiversität im Tierreich – Artenzahlen im Vergleich

- **Gesamtzahl lebender Arten auf der Erde**



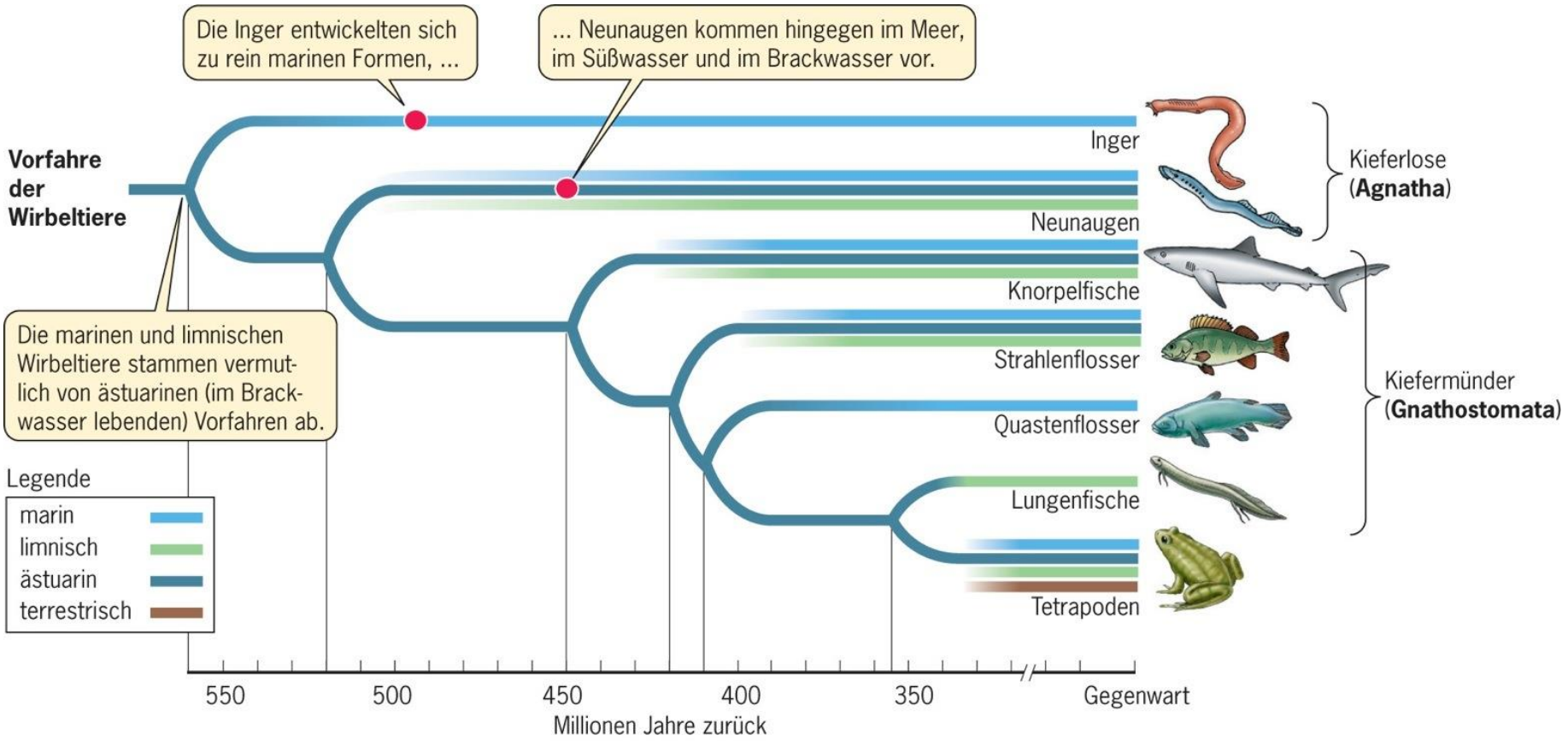
Bekannte Arten bei Vertebrata



A.D.Chapman (2005) – Numbers of living species

Craniota

- **Kolonisierung via Ästuar**



Aus Purves/Sadava/Orians/Heller, *Biologie*, 7. Aufl., © 2006 Elsevier GmbH

„Agnatha" - Kieferlose

Schleimaale (Myxinoidea, Myxini)

FishBase: http://filaman.uni-kiel.de/search.cfm

- **marin, ektoparasitisch an Fischen**

„Agnatha" - Kieferlose

- **Schleimaale**

„Agnatha" - Kieferlose

- **Neunaugen**

Petromyzontida

- **marin & limnisch, parasitisch**
- **7 Kiemenöff, + Auge + unpaare Nasengrube**
- **Maul: epidermale Hornzähne**

Flussneunauge, *Petromyzon fluviatilis*

Bachneunauge, *Lampetra planeri*

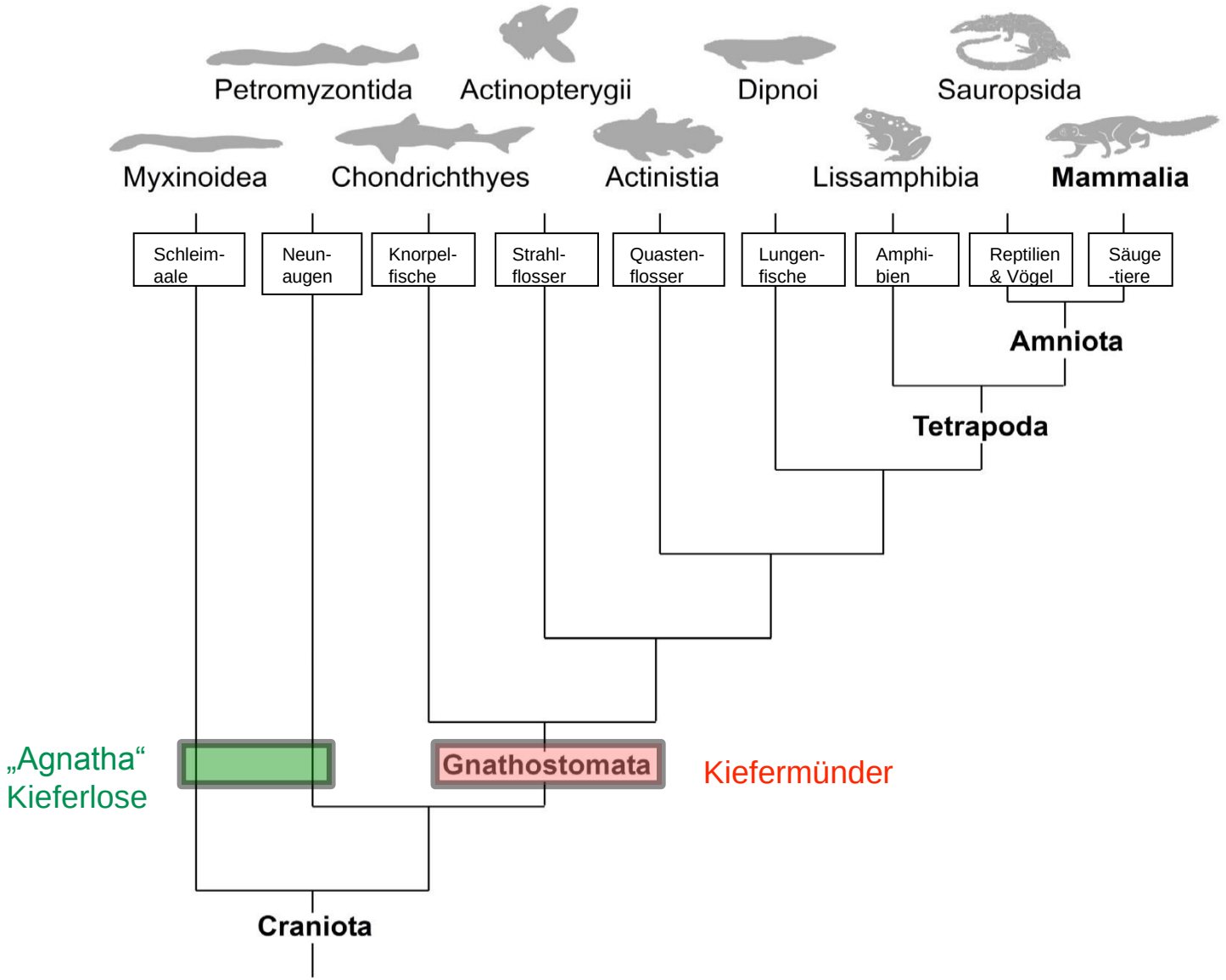
„Agnatha" - Kieferlose

- **Neunaugen**

Petromyzontida

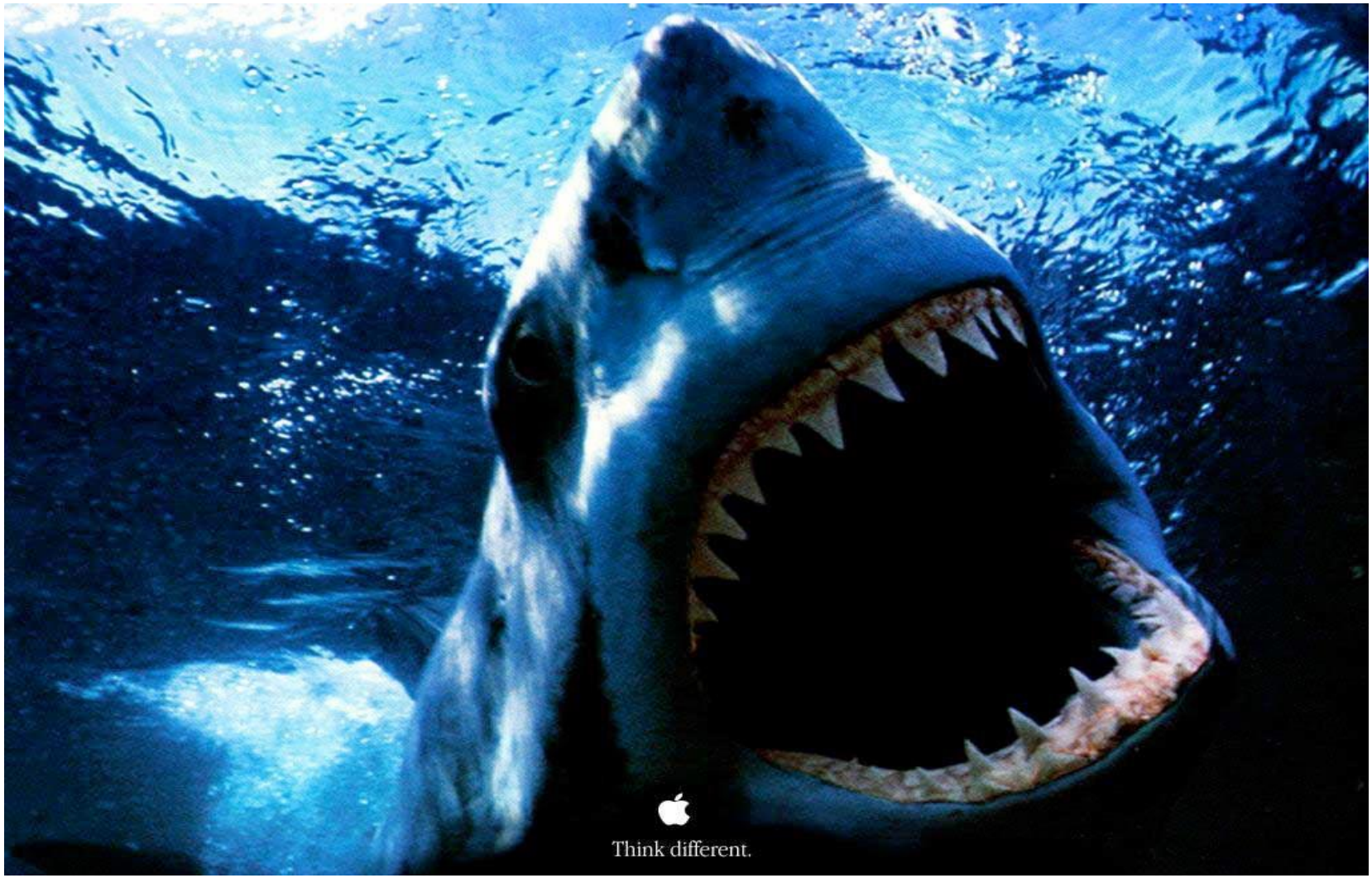
Craniota – Wirbel- oder Schädeltiere

- **„Agnatha“ & Gnathostomata**



Gnathostomata (Kiefermünder)

- **Knorpelfische (Chondrichthyes)**

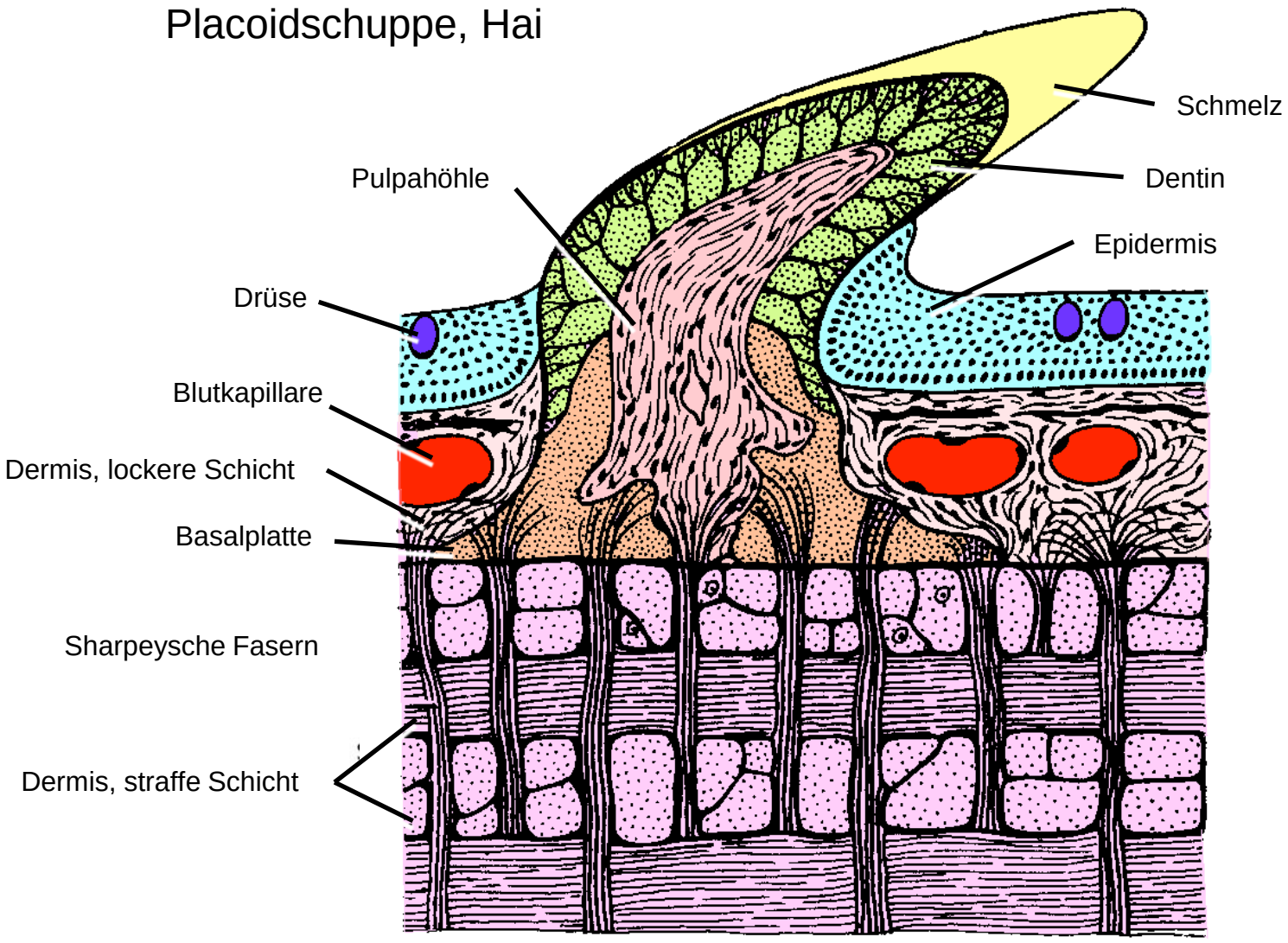


Gnathostomata (Kiefermünder)

- **Knorpelfische (Chondrichthyes)**
  - **Selachii – Haie**
  - **Rajiformes – Rochen**
  - **Holocephali – Seekatzen**

- **Fehlen von Knochen: sekundär !**
- **Schlunddarm mit 5-7 Kiemenspalten (1. = Spritzloch; vs. 4 Paar Teleostei)**
- **ohne Schwimmblase**
- **Eier in Hornschale oder vivipar**
- **innere Besamung; Bauchflossen zum Penis**

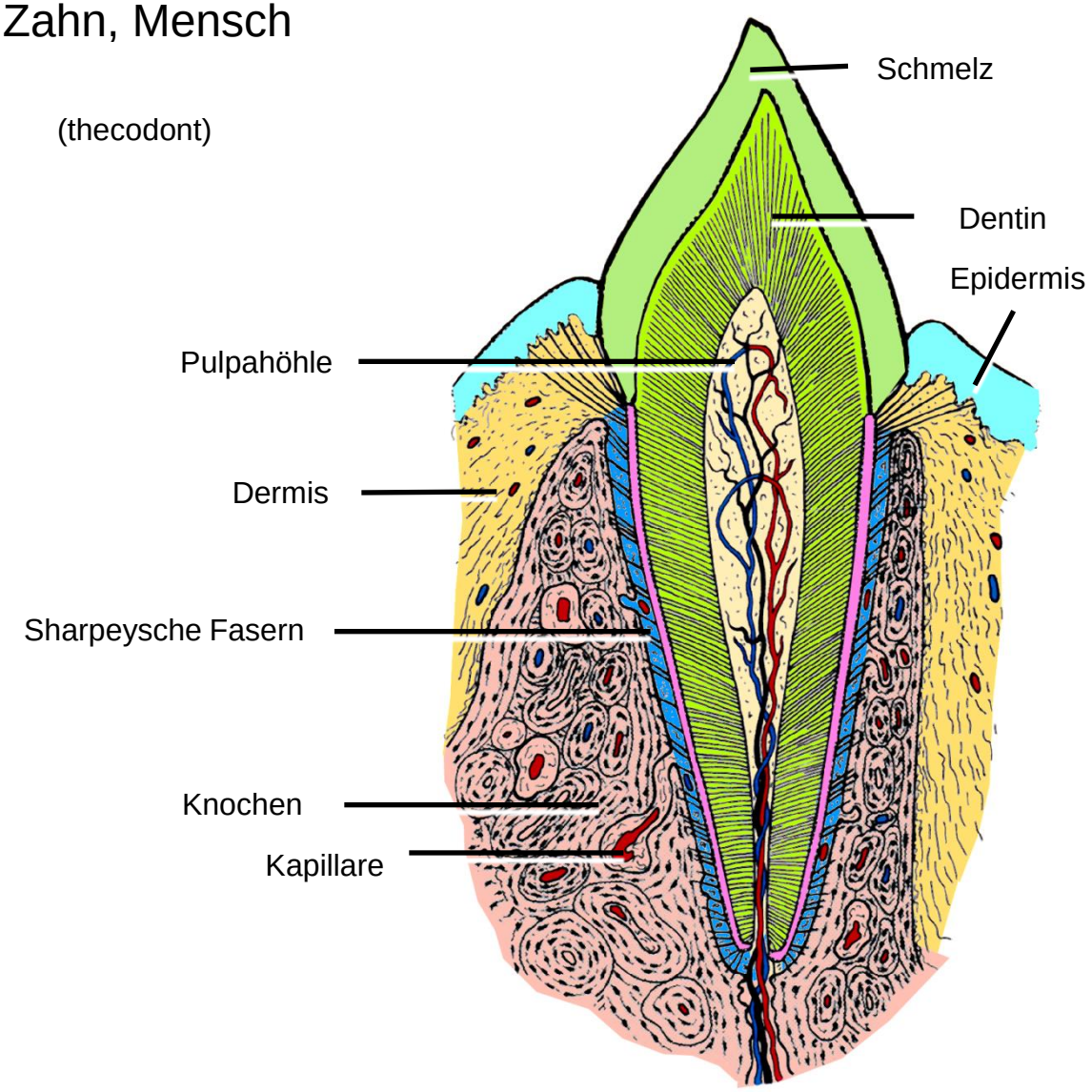
Hautzähne der Chondrichthyes



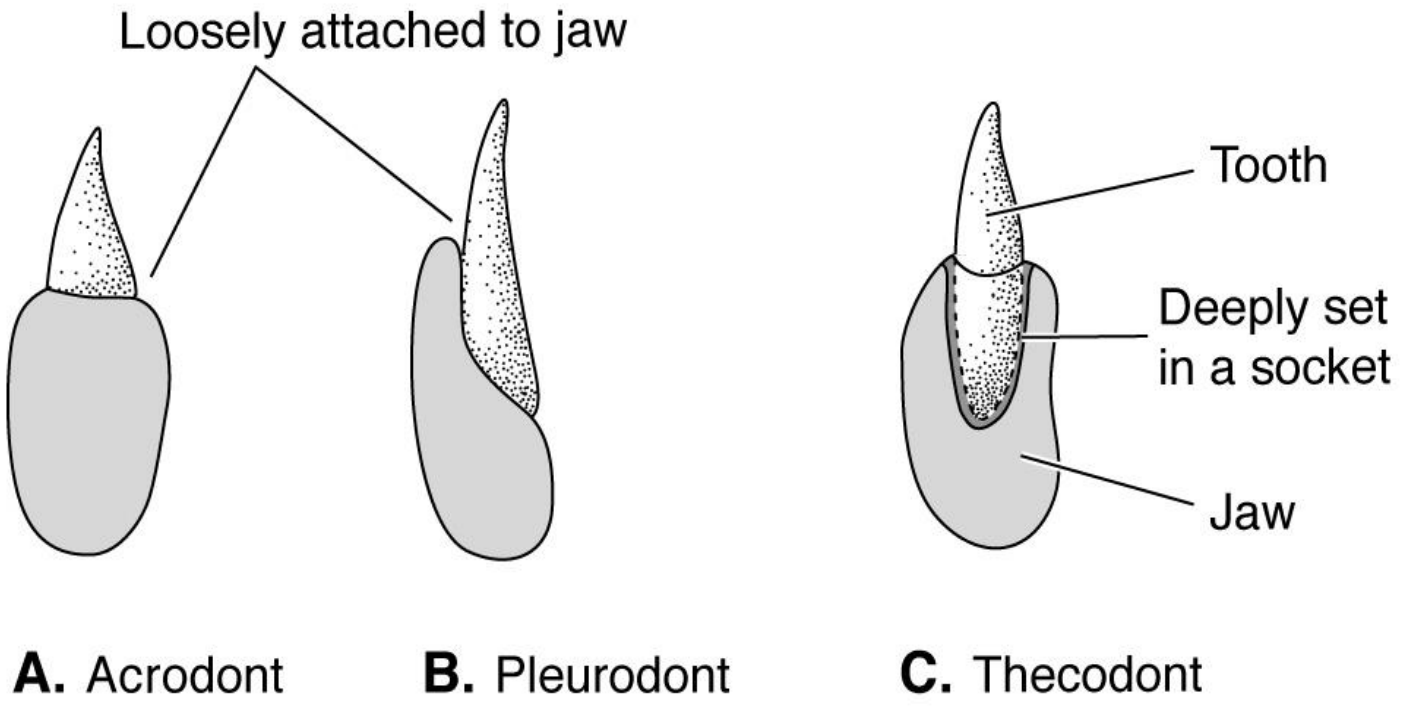
Hautzähne der Chondrichthyes

Zahn, Mensch

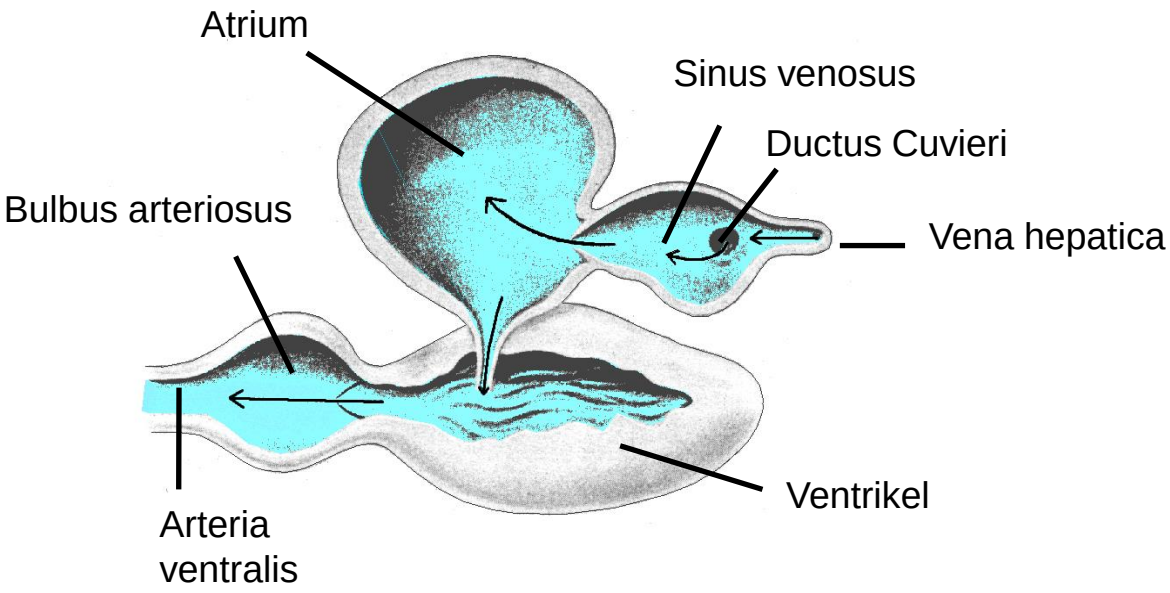
(thecodont)



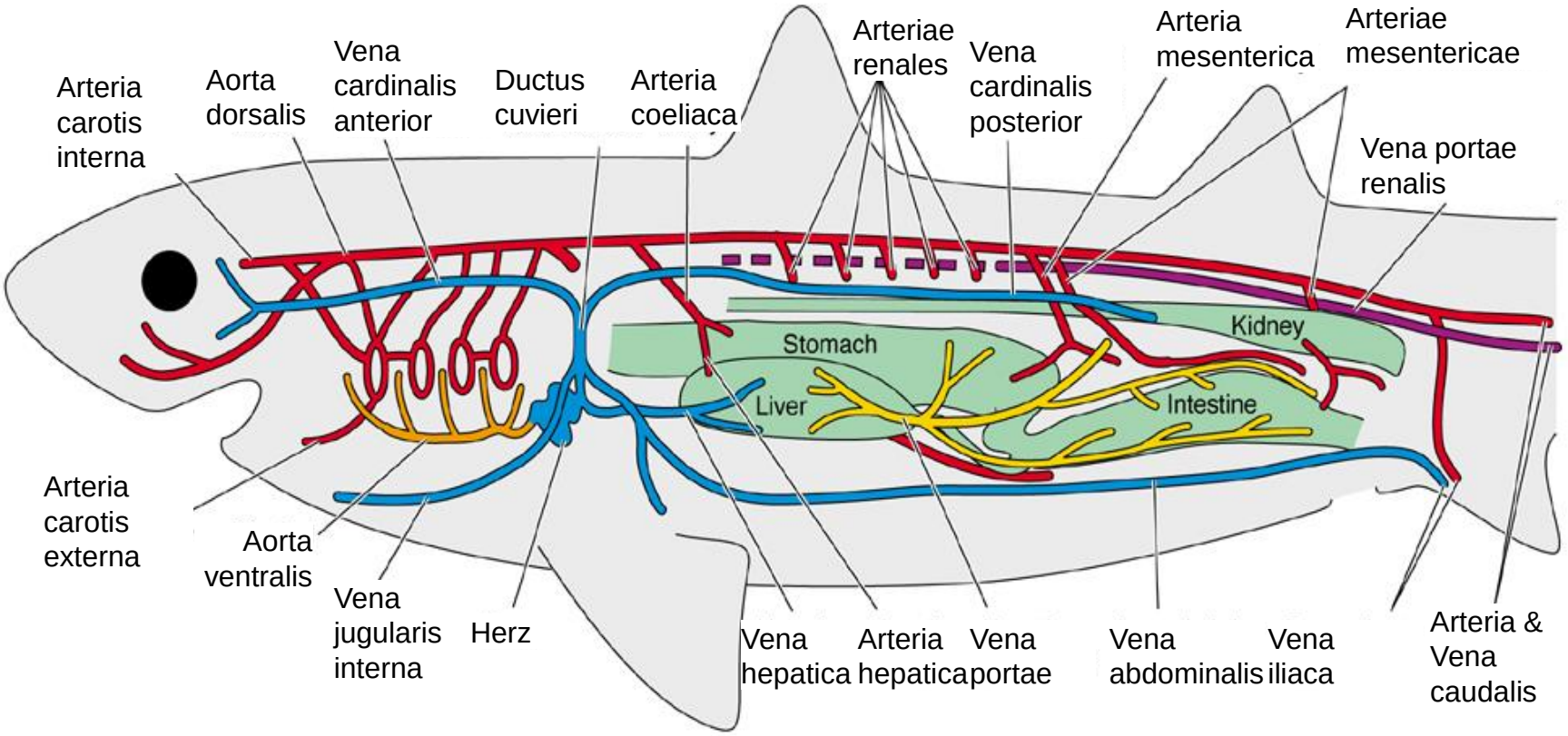
- **Zahn-Verankerung am Kiefer bei Gnathostomata**



- **Herz der Chondrichthyes und Teleostei**



- **Blutkreislauf beim Hai**

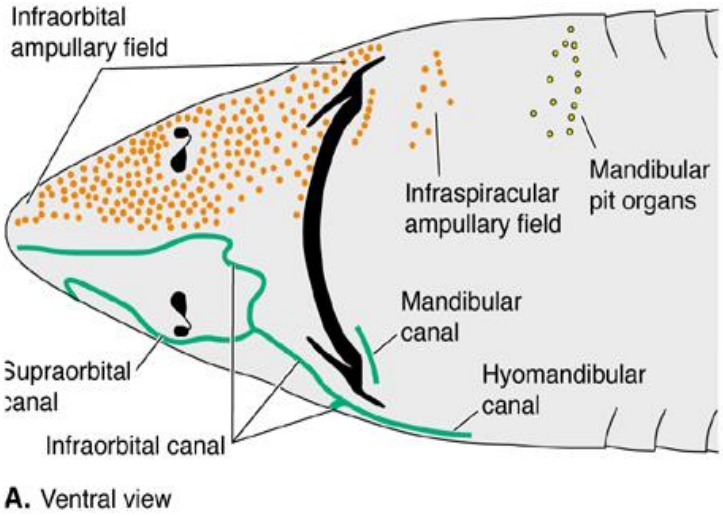


(aus Liem et al. : Functional Anatomy of Vertebrates)

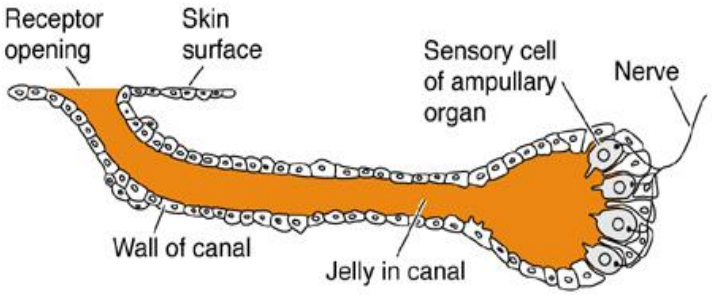
Chondrichthyes

- **Ampullenorgane beim Hai *(„Lorenzinische Ampullen“)***

Sinnesorgane zur Wahrnehmung elektrischer Felder



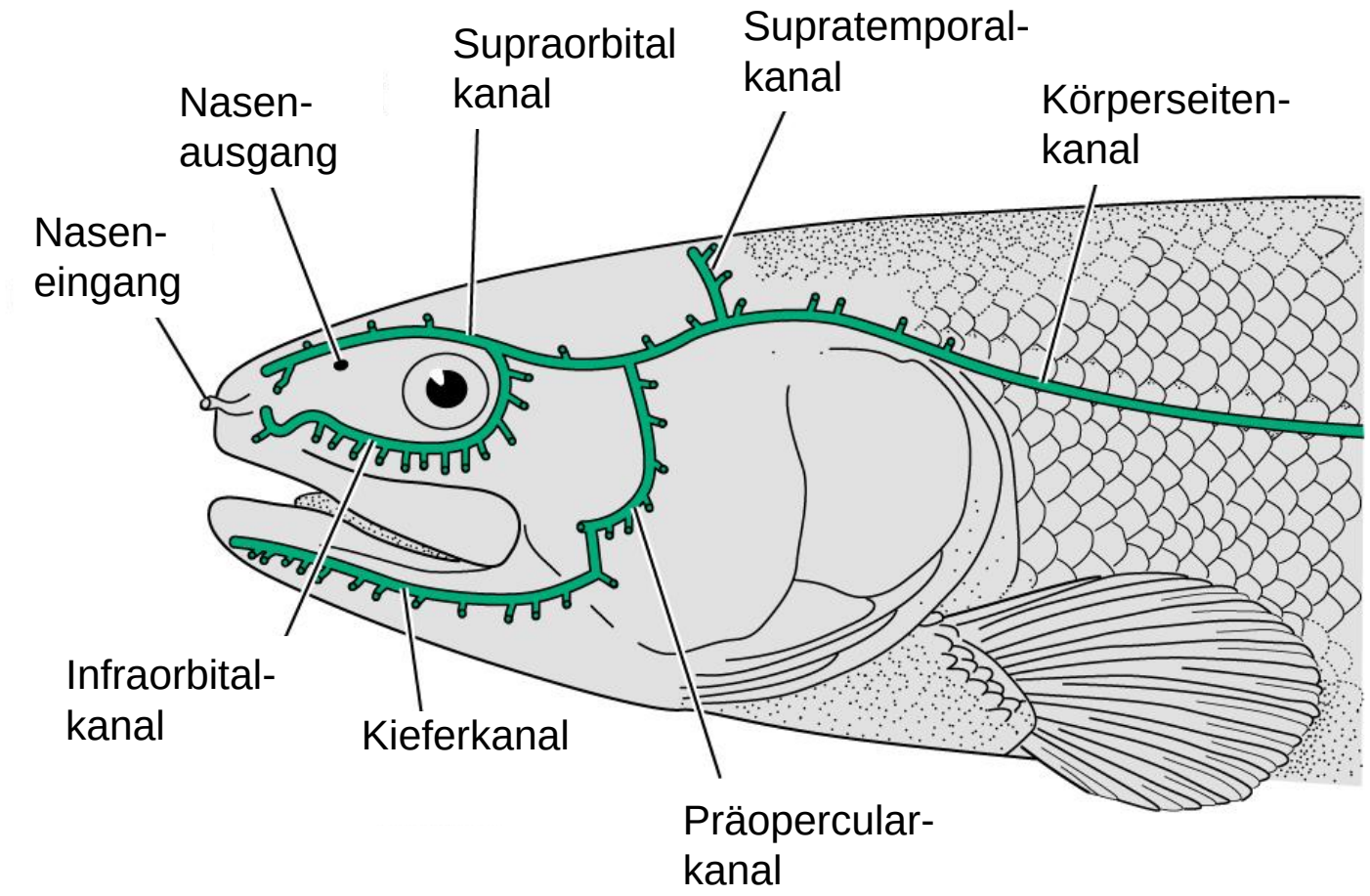
A. Ventral view



C. Anatomy of an individual ampullary organ

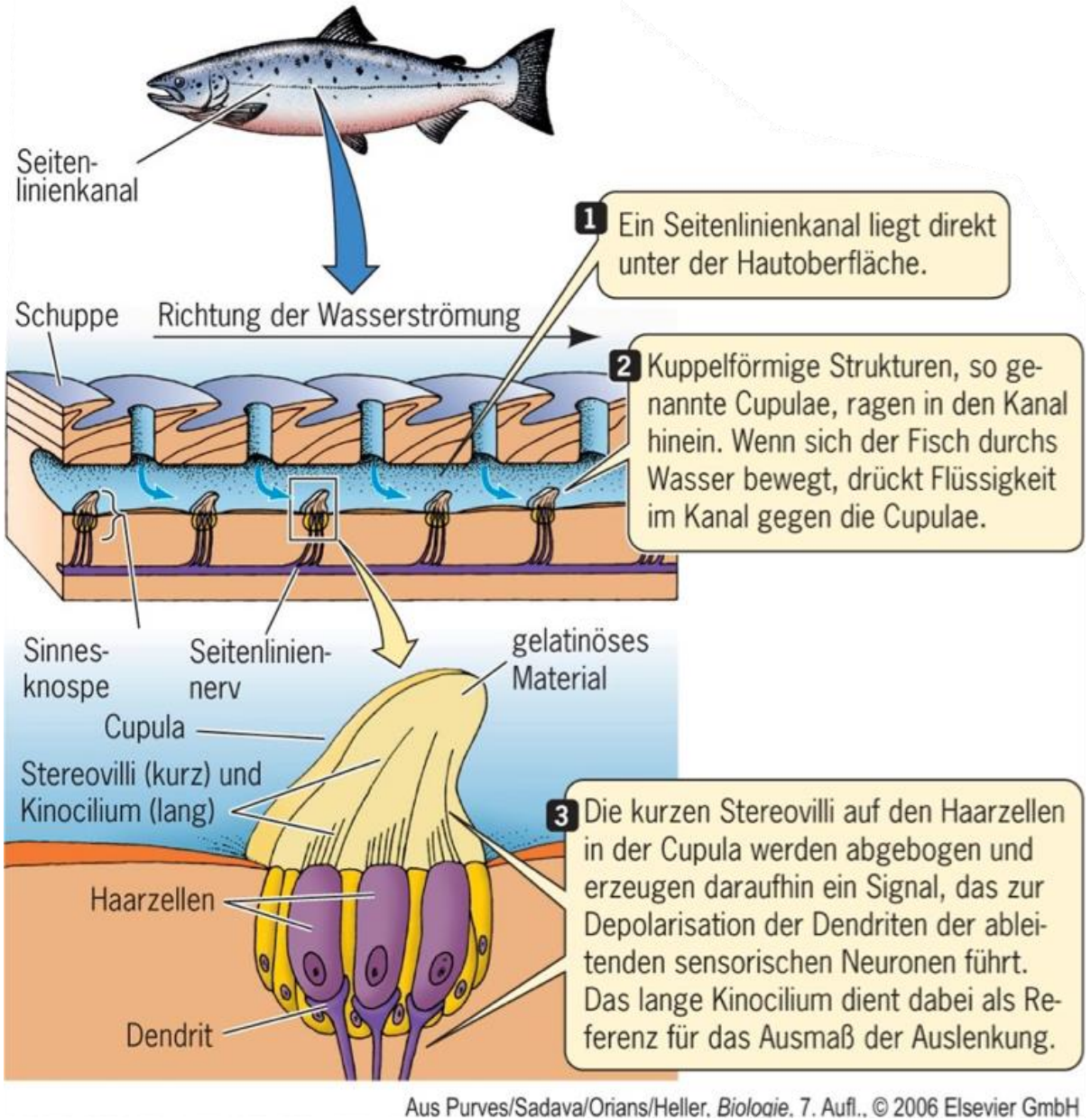
(bearbeitet aus Liem et al: Functional Anatomy of the Vertebrates)

- **Seitenliniensystem der Fische**



(Aus Liem: Functional Anatomy of the Vertebrates)

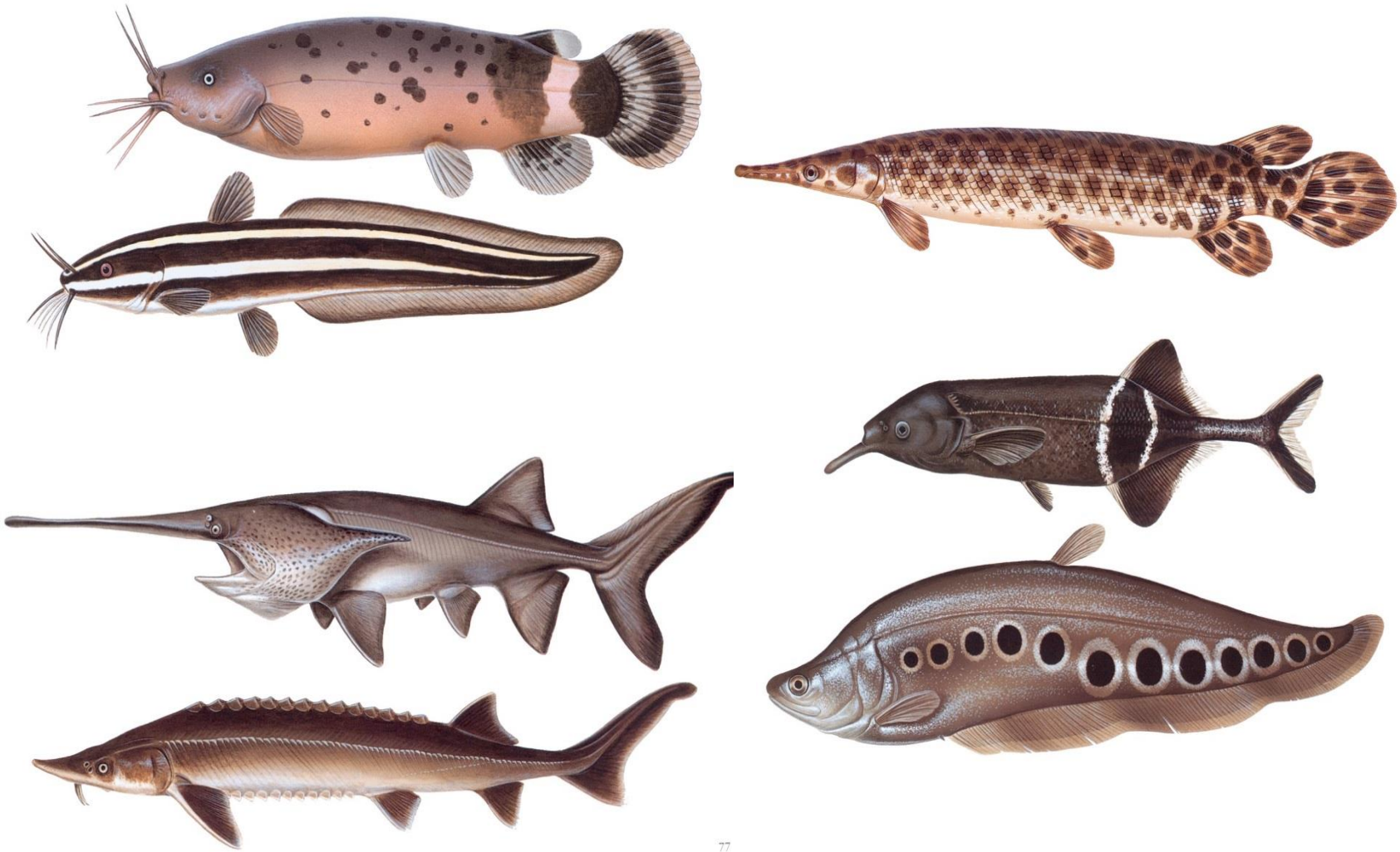
- **Seitenlinienorgan**


Seiten-
linienkanal
Schuppe
Richtung der Wasserströmung
1 Ein Seitenlinienkanal liegt direkt unter der Hautoberfläche.
2 Kuppelförmige Strukturen, so genannte Cupulae, ragen in den Kanal hinein. Wenn sich der Fisch durchs Wasser bewegt, drückt Flüssigkeit im Kanal gegen die Cupulae.
Sinnes-
knospe
Seitenlinien-
nerv
gelatinöses
Material
Cupula
Stereovilli (kurz) und
Kinocilium (lang)
3 Die kurzen Stereovilli auf den Haarzellen in der Cupula werden abgebogen und erzeugen daraufhin ein Signal, das zur Depolarisation der Dendriten der ableitenden sensorischen Neuronen führt. Das lange Kinocilium dient dabei als Referenz für das Ausmaß der Auslenkung.
Haarzellen
Dendrit

Aus Purves/Sadava/Orians/Heller. *Biologie*. 7. Aufl., © 2006 Elsevier GmbH

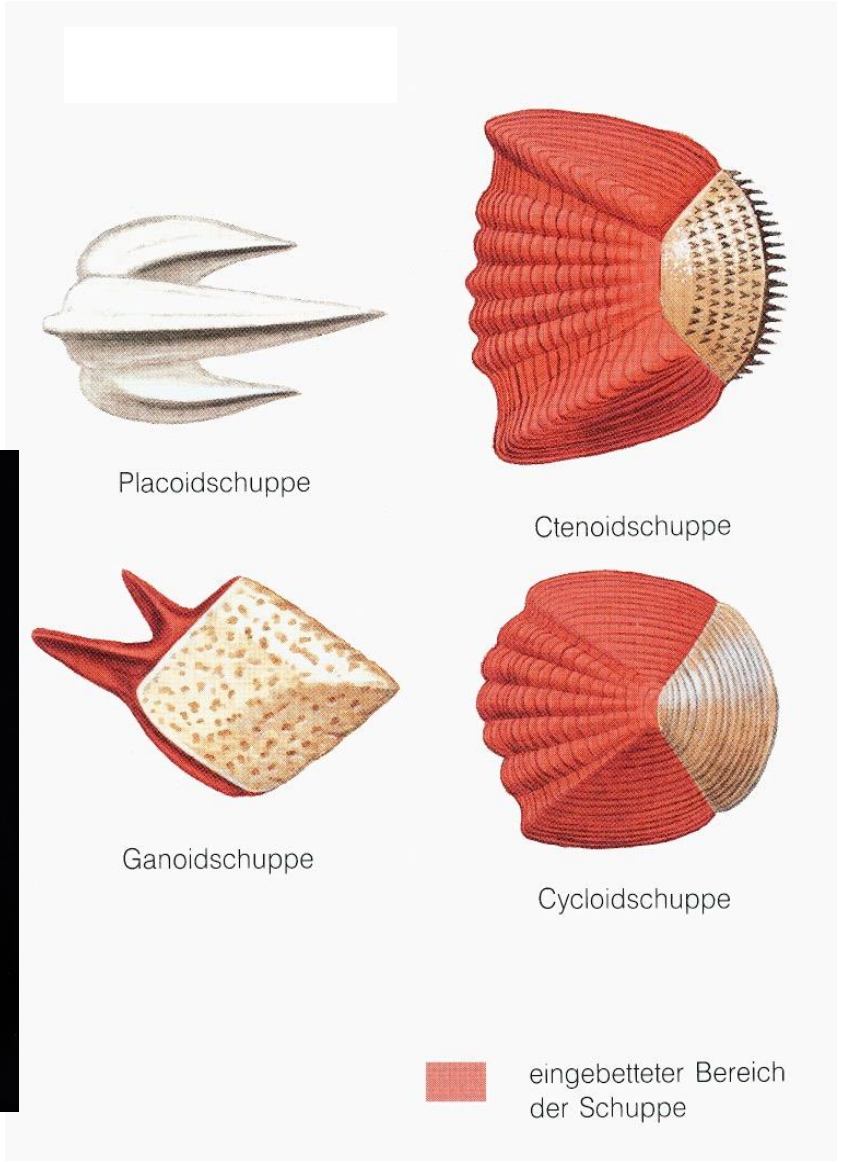
„Pisces" - Osteichthyes (Knochenfische)

- **Strahlenflosser (Actinopterygii)**

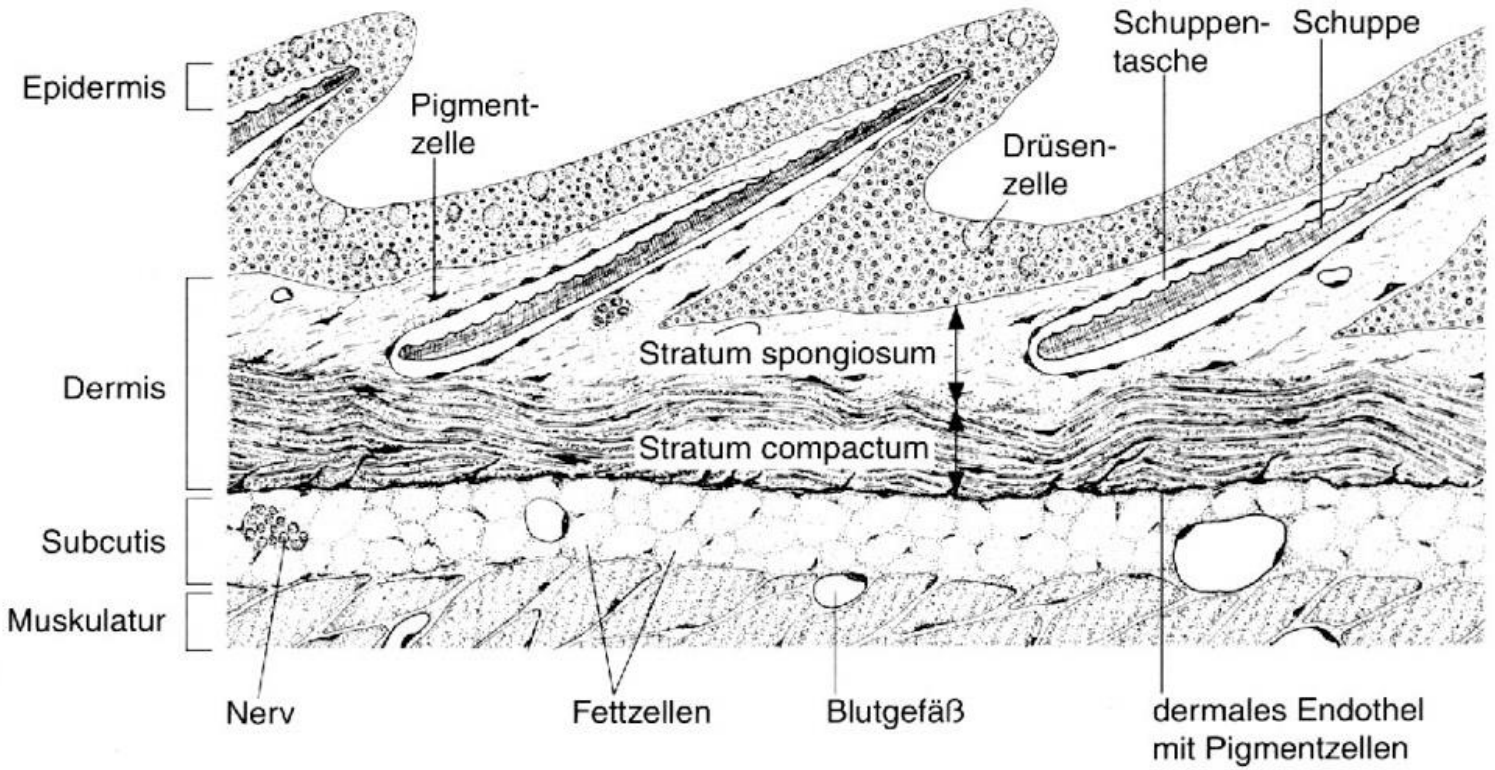


„Pisces"

- **Fischschuppen:**
  - **Hautschuppen (Placoid-)**
  - **dermale Knochenschuppen**

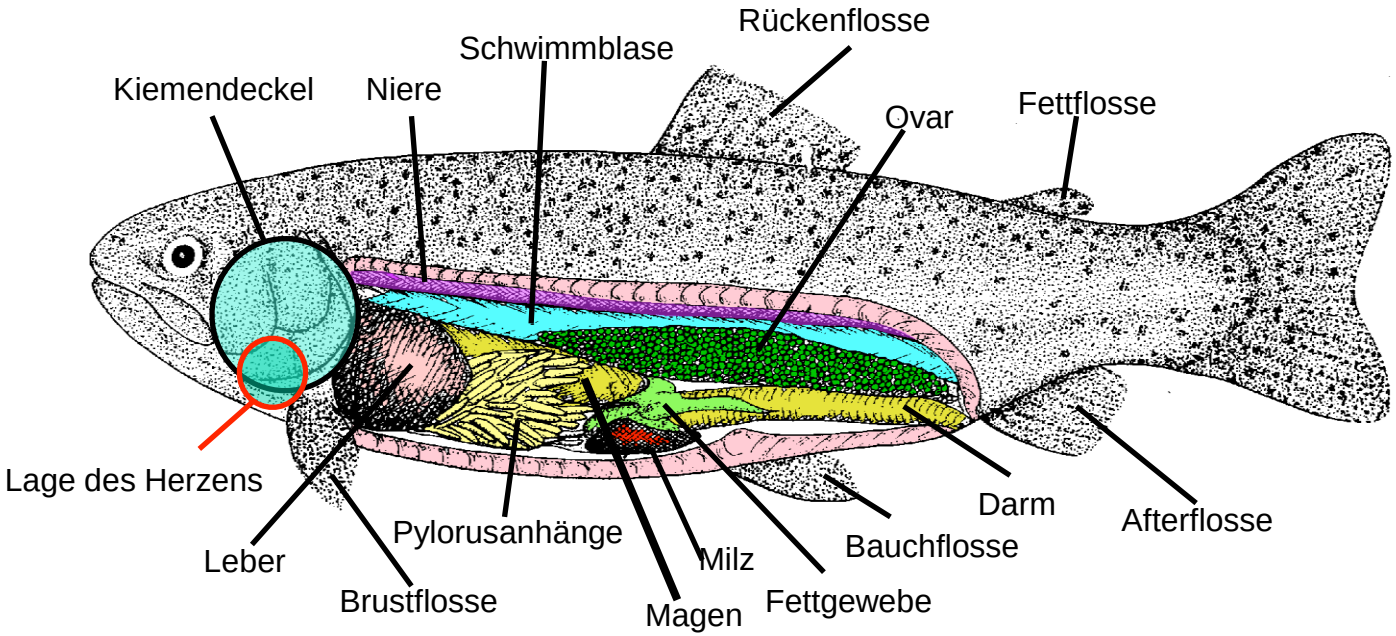


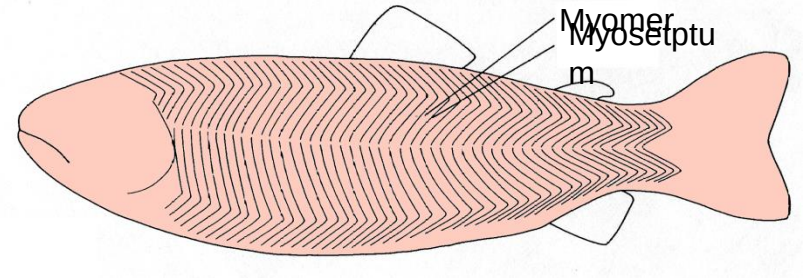
- **Fischschuppen**



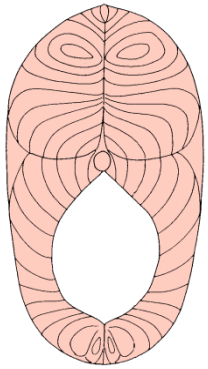
- **Anatomie**

Regenbogenforelle





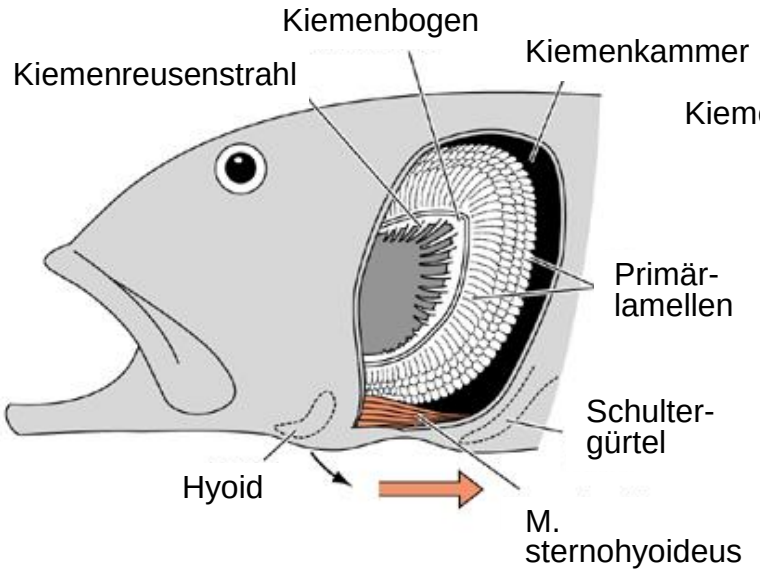
Muskulatur von der Seite

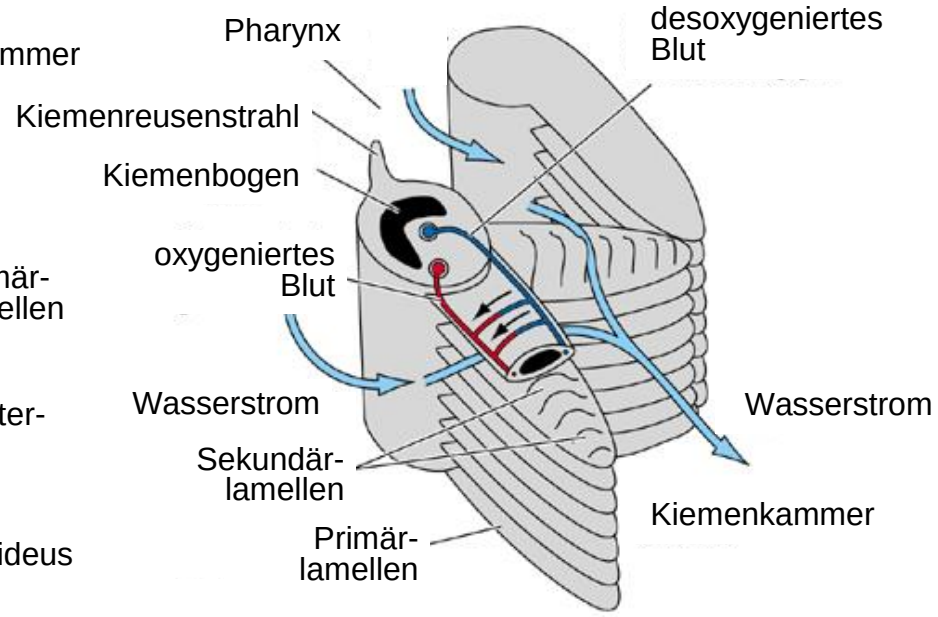


Muskulatur
im Querschnitt

- **Kiemen (4 Paar) unter Kiemendeckel**

Gegenstromprinzip

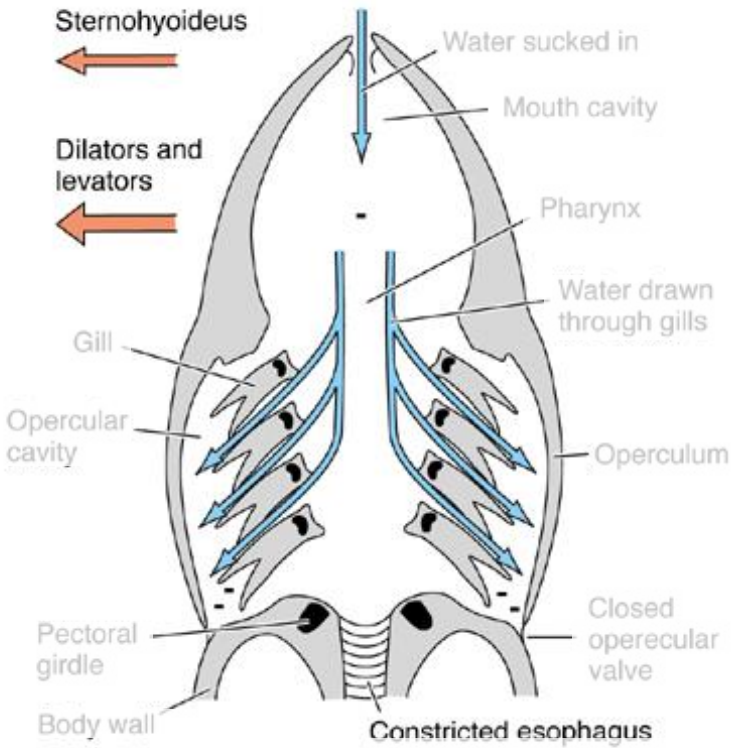




(aus Liem et al. : Functional Anatomy of Vertebrates)

- **Kiemen**

Wasserstrom



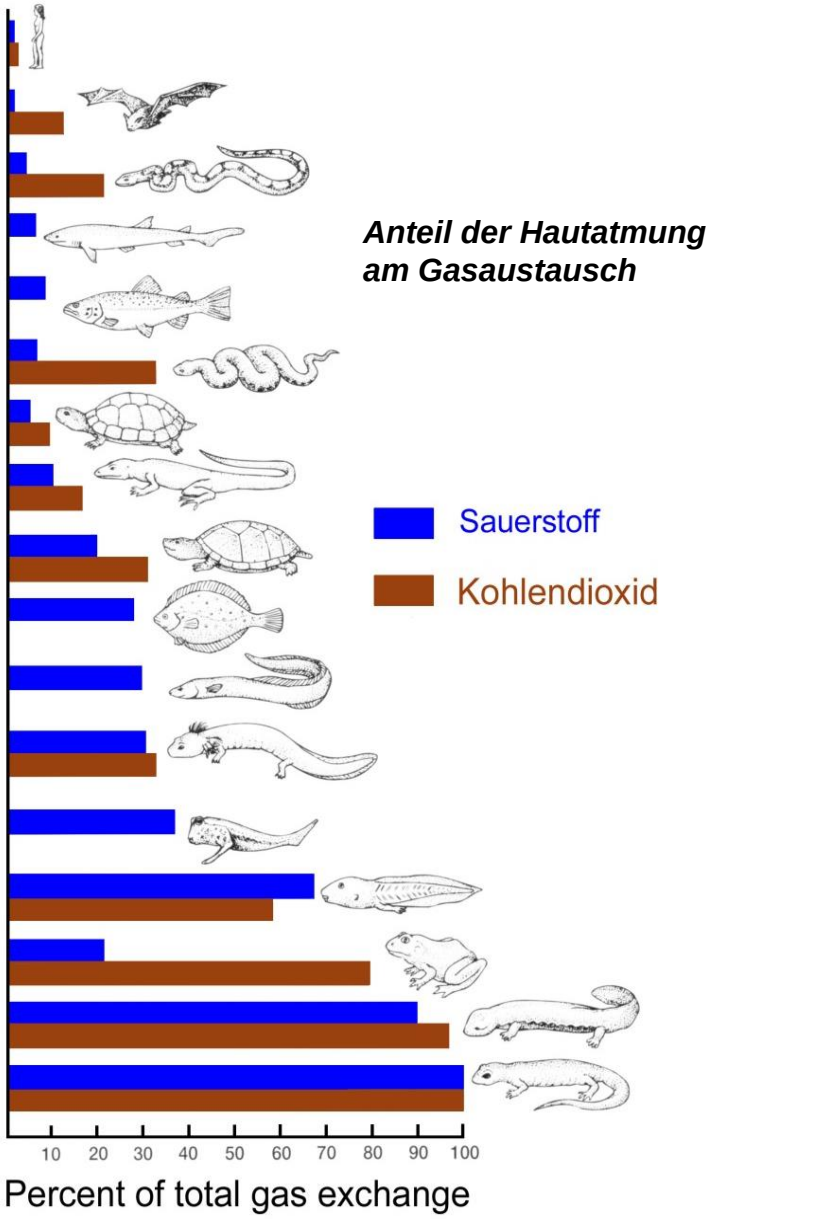
(aus Liem et al. : Functional Anatomy of Vertebrates)

„Pisces"

- **Atmung**

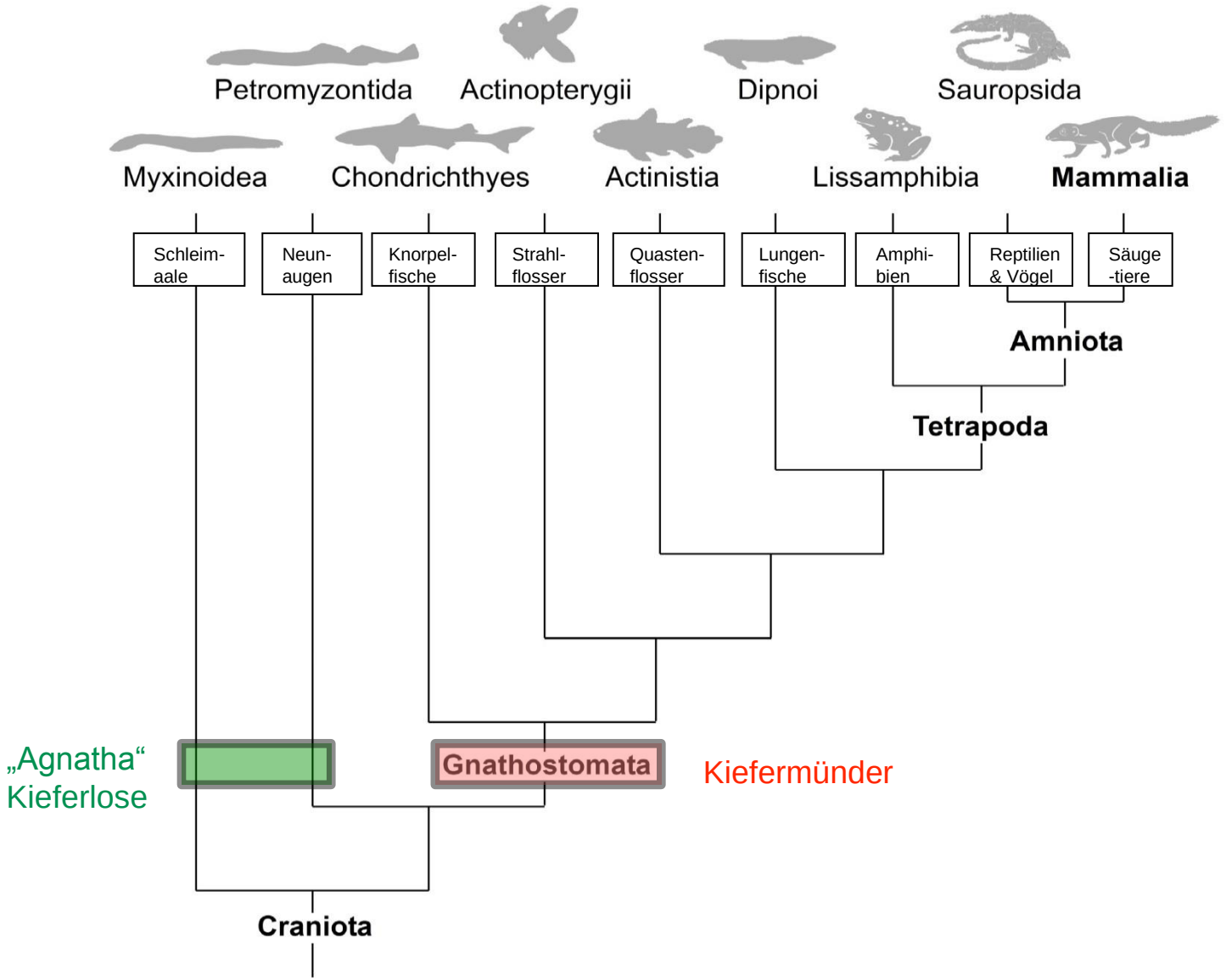
Atmungsorgane der Wirbeltiere

- Kiemen
- Lungen
- Haut


Anteil der Hautatmung am Gasaustausch
Sauerstoff
Kohlendioxid
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Percent of total gas exchange

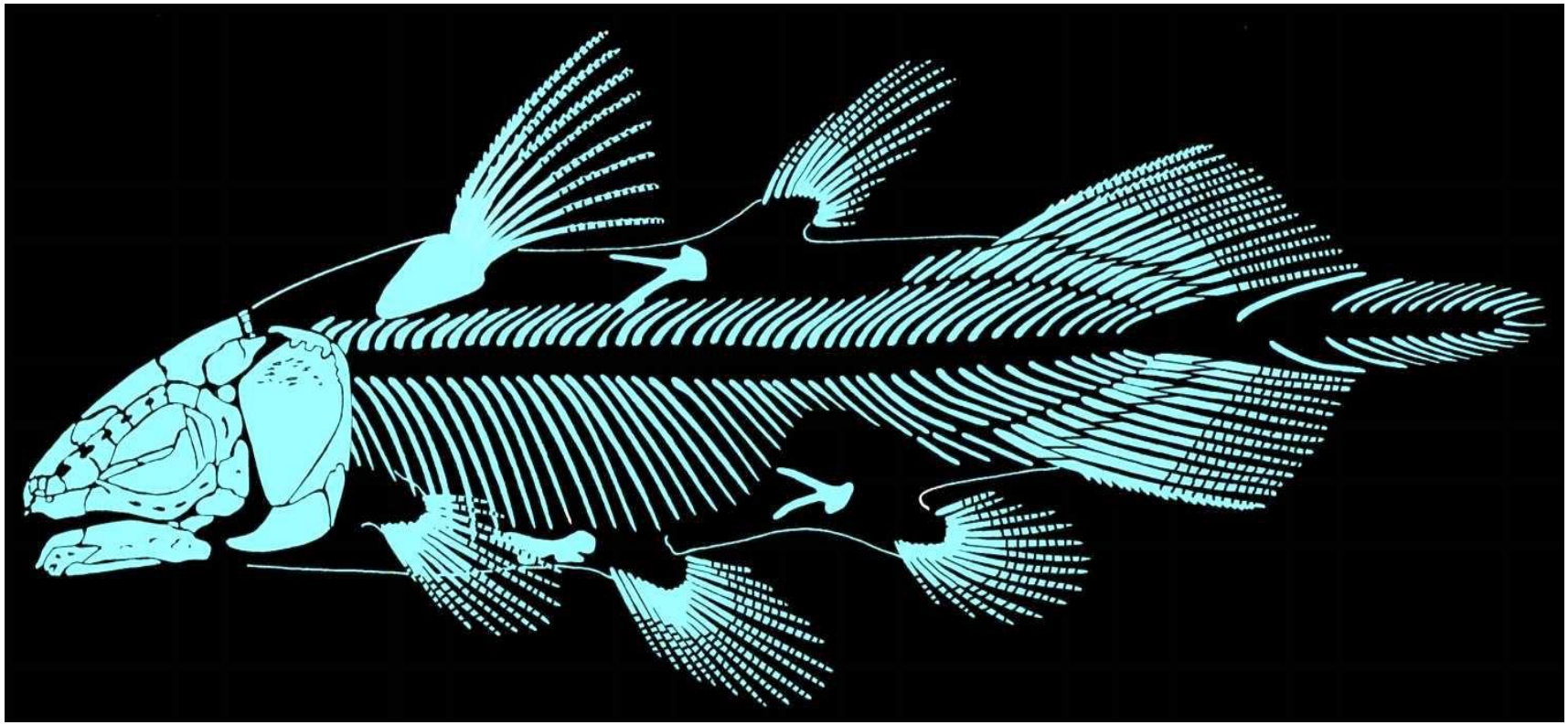
Craniota – Wirbel- oder Schädeltiere

- **„Agnatha“ & Gnathostomata**



„Pisces"

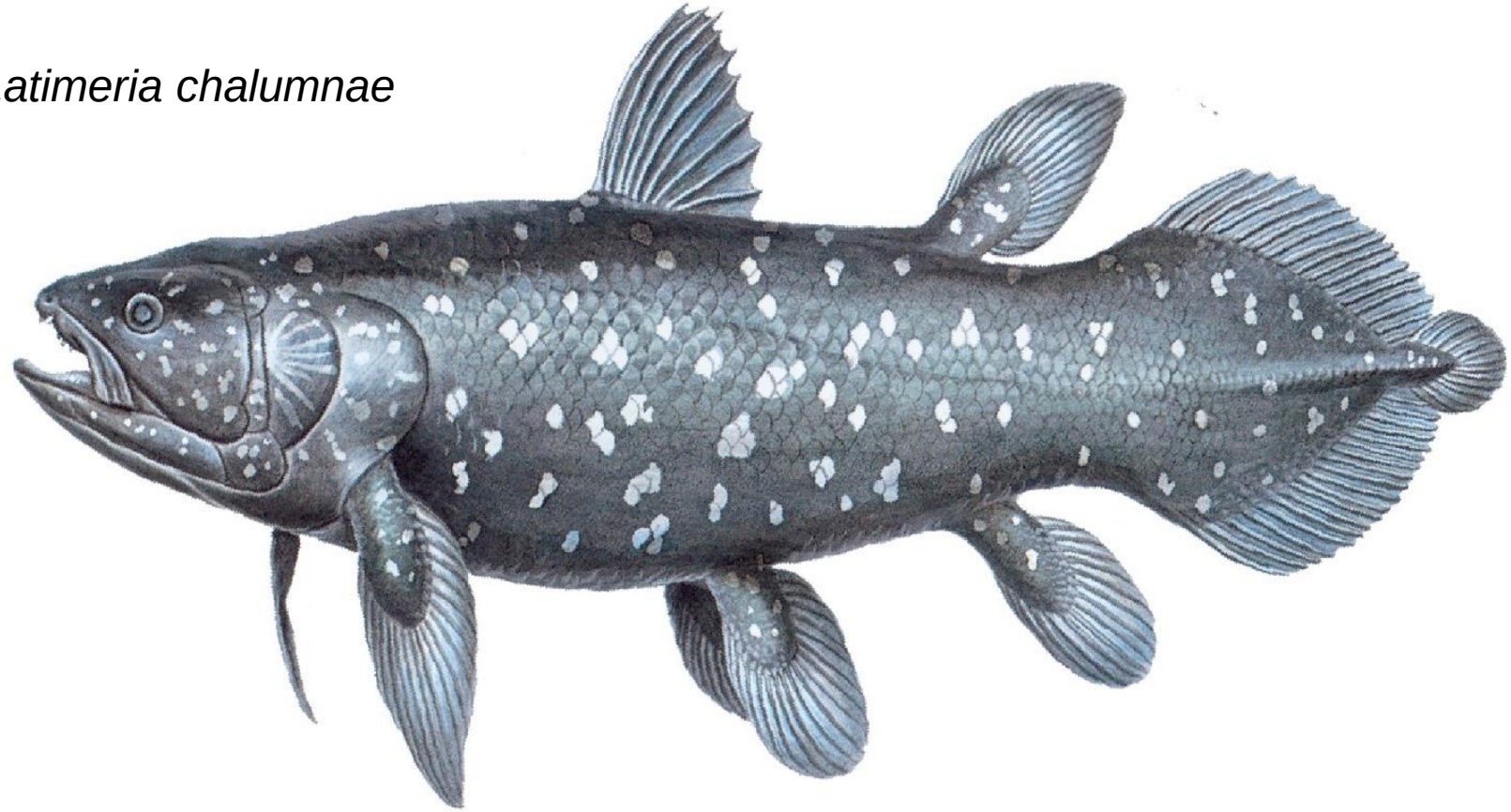
- **Quastenflosser (Actinistia) – Erdaltertum & frühe Trias**



„Lebendes Fossil" Latimeria

- **Quastenflosser (Actinistia) – seit 1939, Ostküste Südafrikas**

Latimeria chalumnae



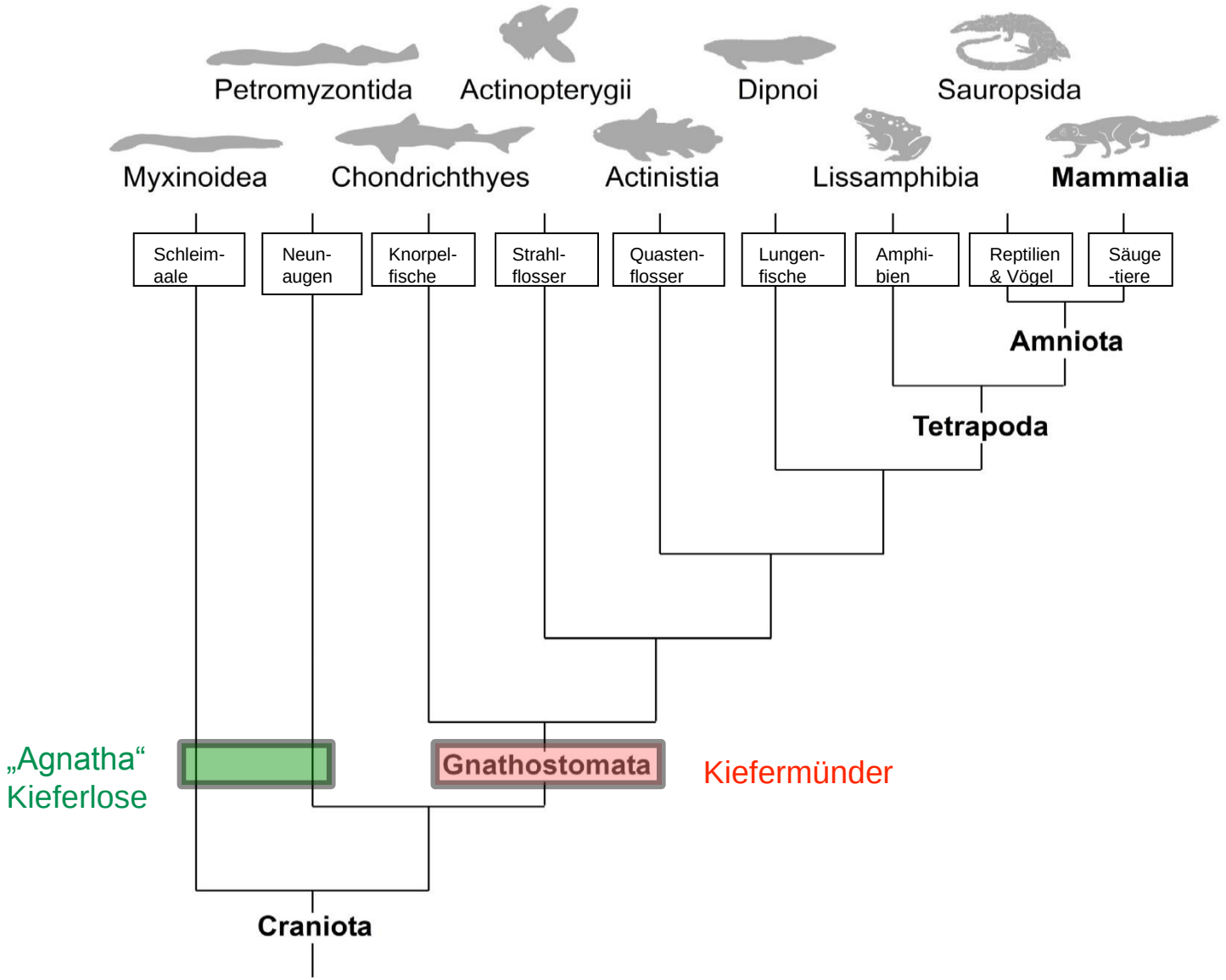
- ***„leiten von vielstrahliger Fischflosse zur fünfstrahligen Extremität über" …???***

„Pisces"

- **Quastenflosser (Actinistia)**

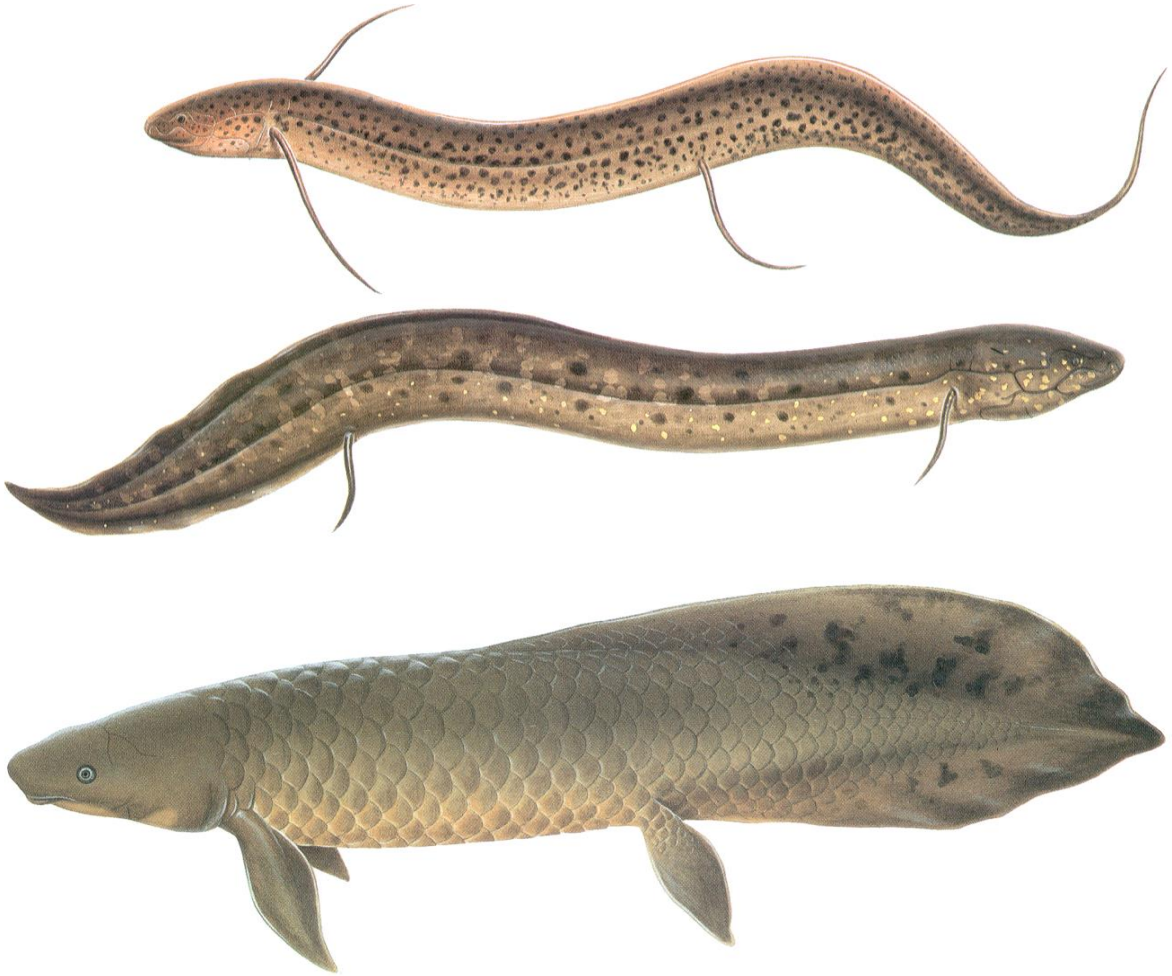
Craniota – Wirbel- oder Schädeltiere

- **„Agnatha“ & Gnathostomata**



- **Lungenfische (Dipnoi) und die Frage der Vorfahren der Tetrapoda**

reine Süßwasserbewohner; schwimmen aalartig oder sie laufen im seichten Wasser auf dem Grund mit ihren Flossen. Schwestergruppe zu den Landwirbeltieren

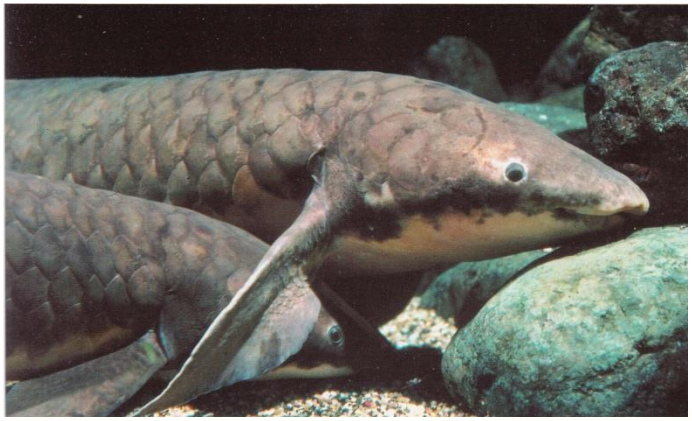


***Protopterus dolloi*,** einer der 4 südafrikanischen Lungenfischarten; Größe ca. 1,2 Meter

***Lepidosiren paradoxa*,** einzige südamerikanische Lungenfischart; Größe ca. 1 Meter

***Neoceratodus fosteri*,** australische Lungenfischart; Größe ca. 1,8 Meter

Ein Fisch mit Gondwana - Verbreitung



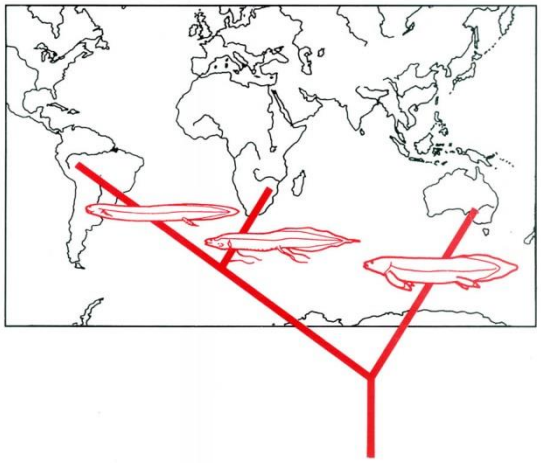
- **Dipnoi (Lungenfische)**

Humboldt-Universität zu Berlin
Universitätsbibliothek
Zentralinstitut für Sprachwissenschaft
TB Systematische Zoologie
2 8 MAI 1995

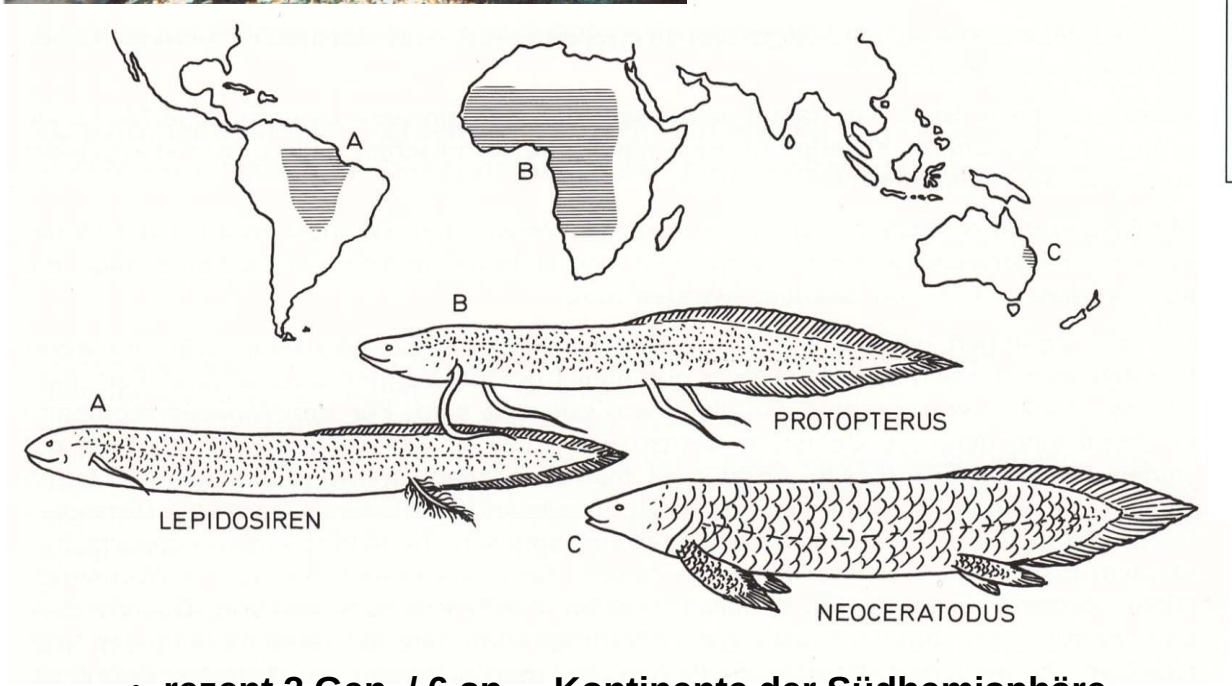
CLADISTICS
The International Journal
of the Willi Hennig Society
ISSN 0748-3007 Volume 11, Number 1 March 1995

Gondwana-Indikator:

- **hinreichend hohes Alter**
- **landgebunden**

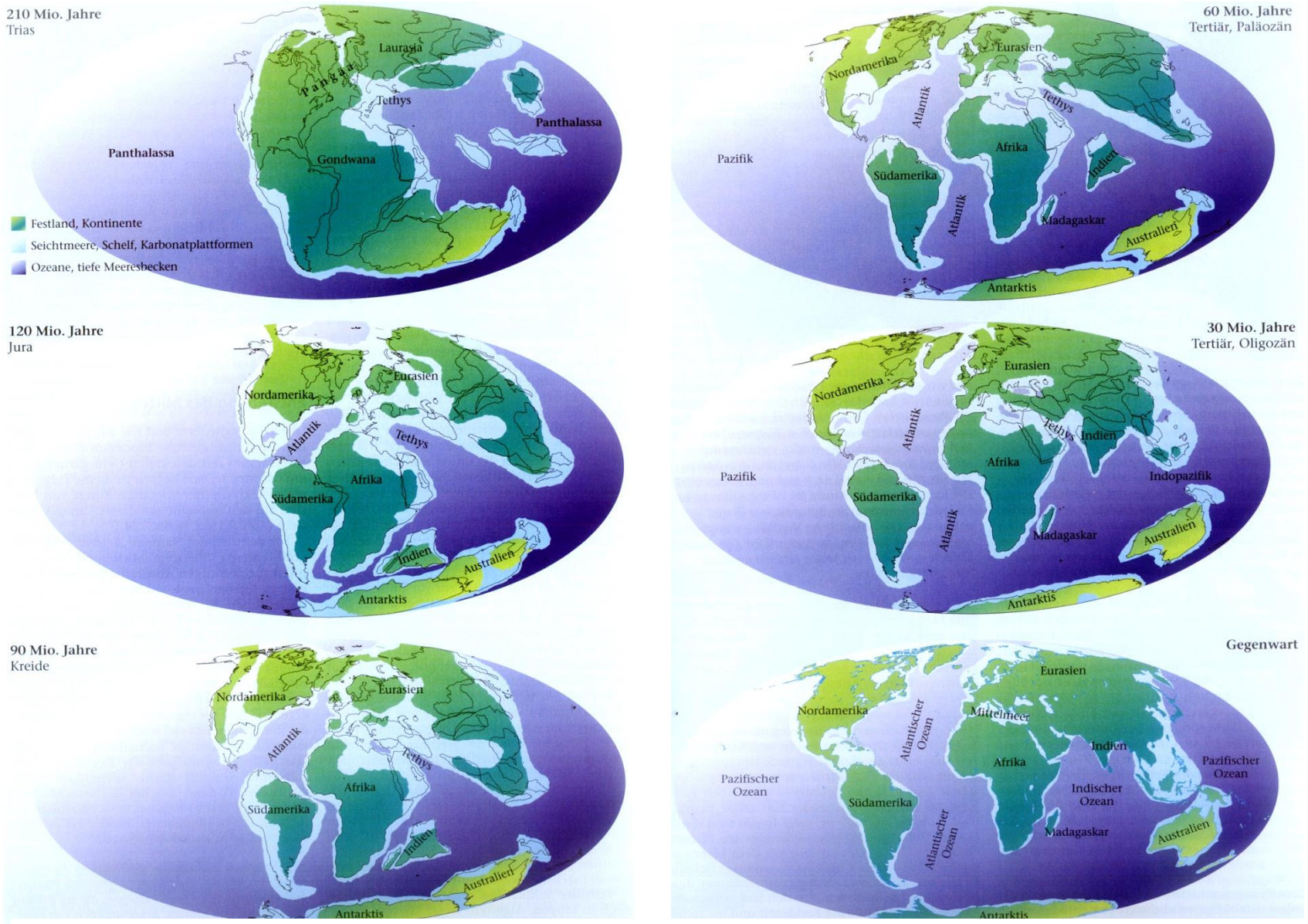


Schrumpf- / Reliktareal



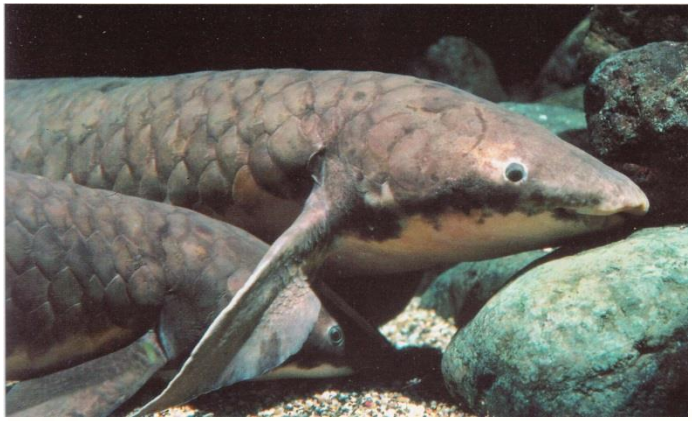
- **rezent 3 Gen. / 6 sp. – Kontinente der Südhemisphäre**
- **fossil (Ober-Trias) auch in Laurasia (+ Antarktis), seit Unter-Kreide in Australien**

Der Zerfall des südlichen Superkontinents Gondwana



u.a. Smith et al. 1994; Paleomap Project – Christopher Scotese (2000); Schettino & Scotese 2005; Blakey 2008

Ein Fisch mit Gondwana - Verbreitung



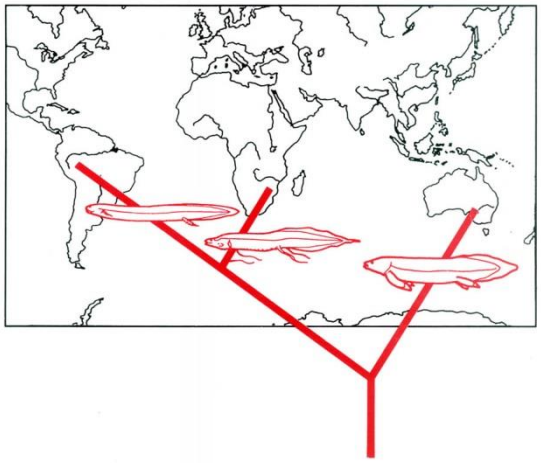
- **Dipnoi (Lungenfische)**

Humboldt-Universität zu Berlin
Universitätsbibliothek
Zentralinstitut für Sprachwissenschaft
TB Systematische Zoologie
2 8 MAI 1995

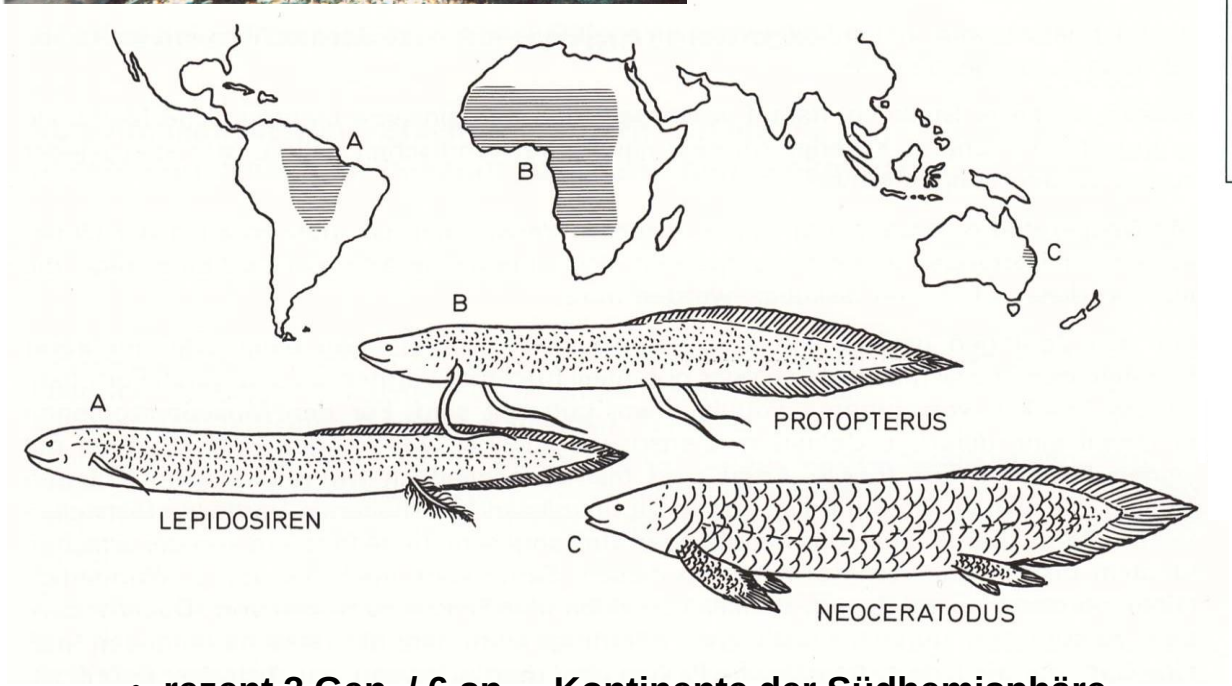
CLADISTICS
The International Journal
of the Willi Hennig Society
ISSN 0748-3007 Volume 11, Number 1 March 1995

Gondwana-Indikator:

- **hinreichend hohes Alter**
- **landgebunden**



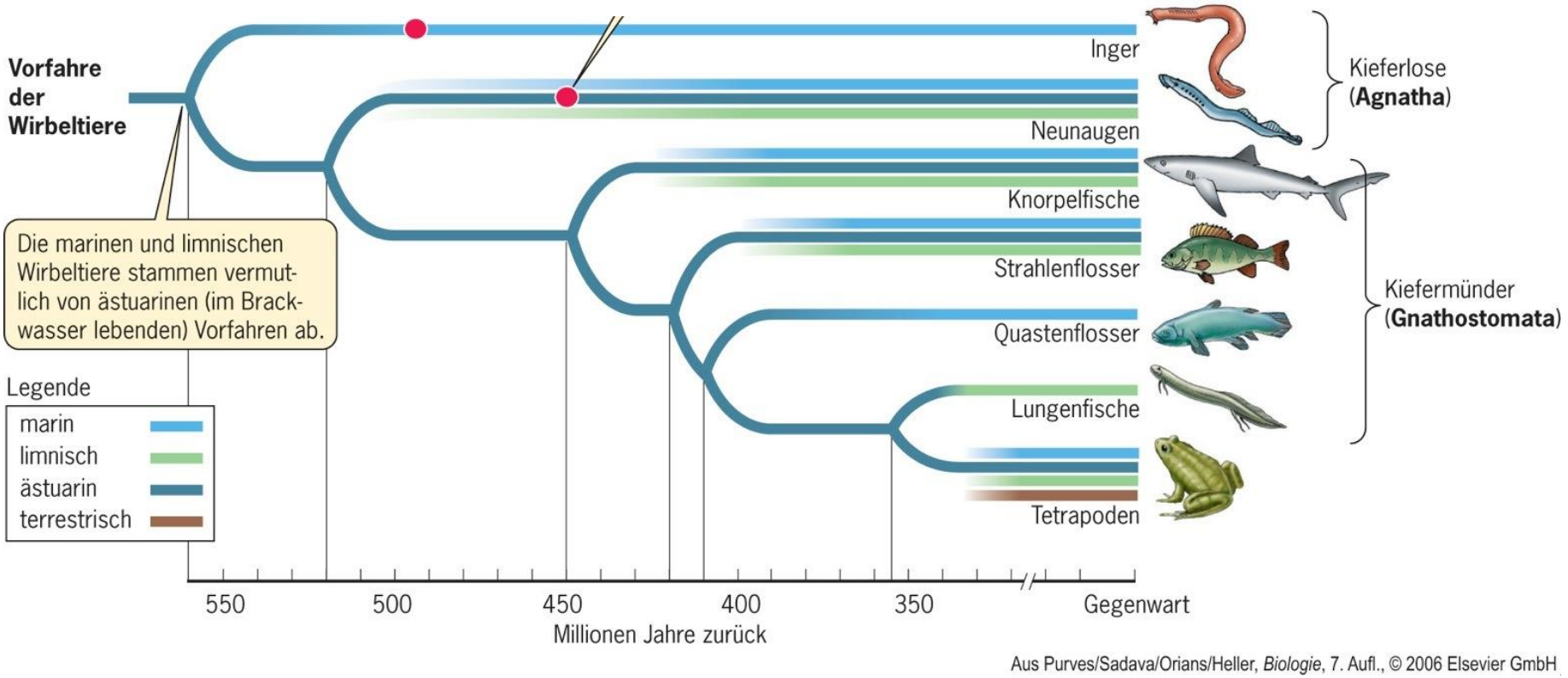
Schrumpf- / Reliktareal



- **rezent 3 Gen. / 6 sp. – Kontinente der Südhemisphäre**
- **fossil (Ober-Trias) auch in Laurasia (+ Antarktis), seit Unter-Kreide in Australien**

Craniota

- **Der Gang ans Land – Vorfahren der Tetrapoda**



Aus Purves/Sadava/Orians/Heller, *Biologie*, 7. Aufl., © 2006 Elsevier GmbH

Tetrapoda (Landwirbeltiere)

- **Landgang**

Eusthenopteron

Panderichthys

Acanthostega

Denderpeton

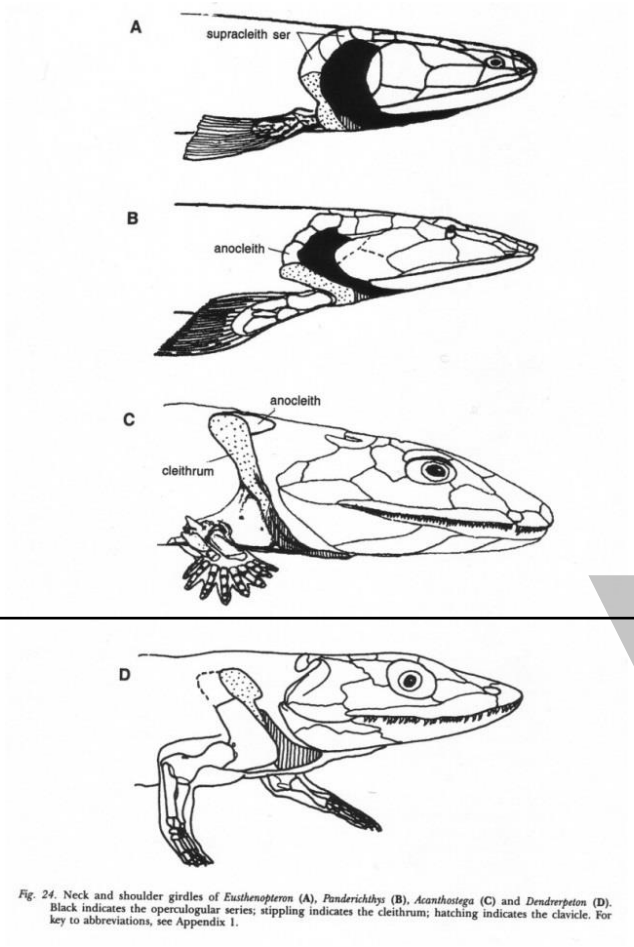


Fig. 24. Neck and shoulder girdles of *Eusthenopteron* (A), *Panderichthys* (B), *Acanthostega* (C) and *Dendrerpeton* (D). Black indicates the operculogular series; stippling indicates the cleithrum; hatching indicates the clavicle. For key to abbreviations, see Appendix 1.

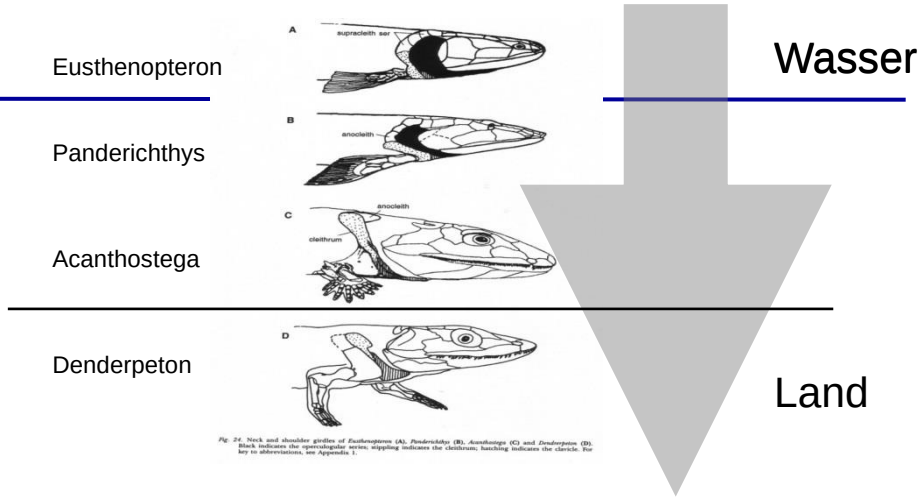
Wasser

Land

(aus Clack)

Tetrapoda (Landwirbeltiere)

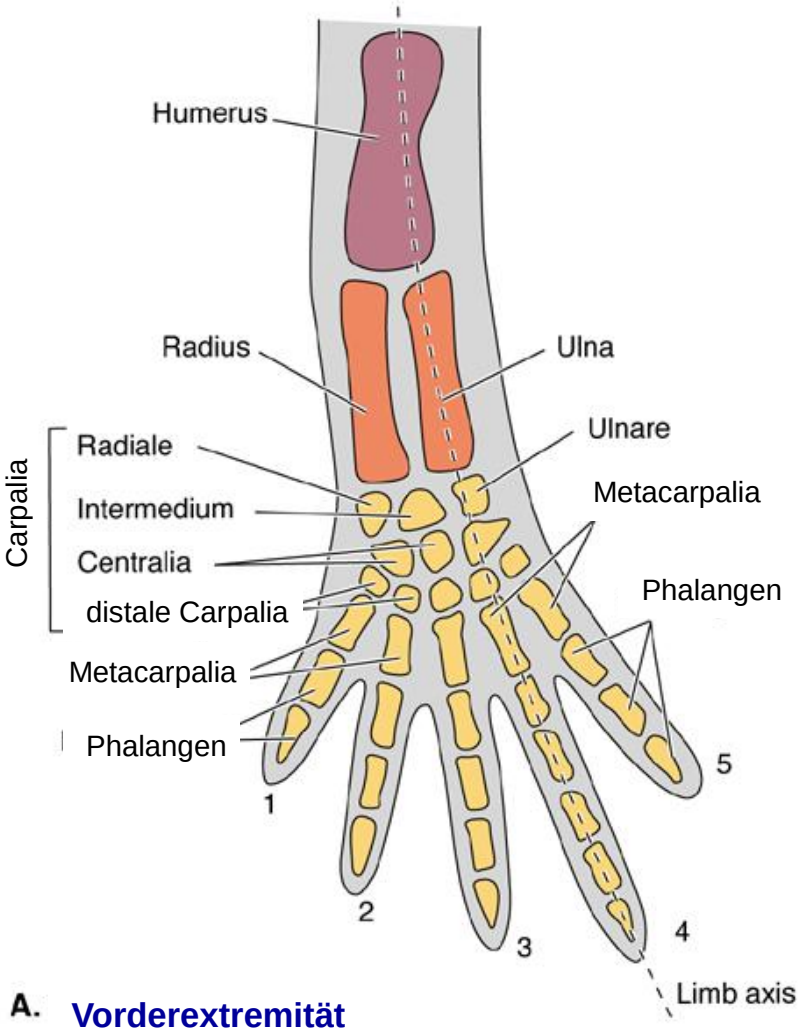
- **Landgang**



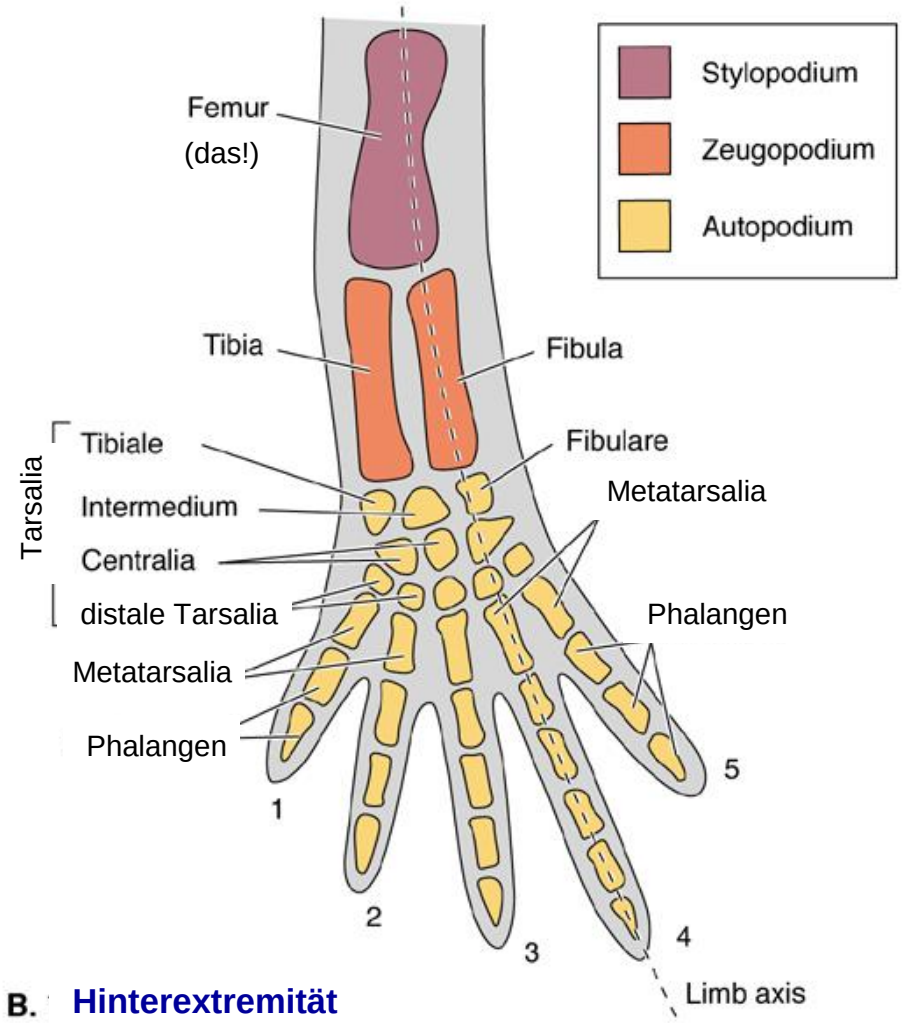
- **Loslösung des Schultergürtels vom Kopf: erstmal ein Hals!**
- **Reduktion des Dermatocranium im hinteren Kopfbereich und Schultergürtel**
- **Verlängerung der Schnauze**
- **Nasenöffnung im Munddach (Choane)**
- **Flosse wird zur Extremität mit Fingern (zunächst bis zu 8)**
- **Das Becken erlangt Kontakt mit der Wirbelsäule**
- **Unpaare Flossen reduziert**

Tetrapoda (Landwirbeltiere)

Die Tetrapoden-Extremität



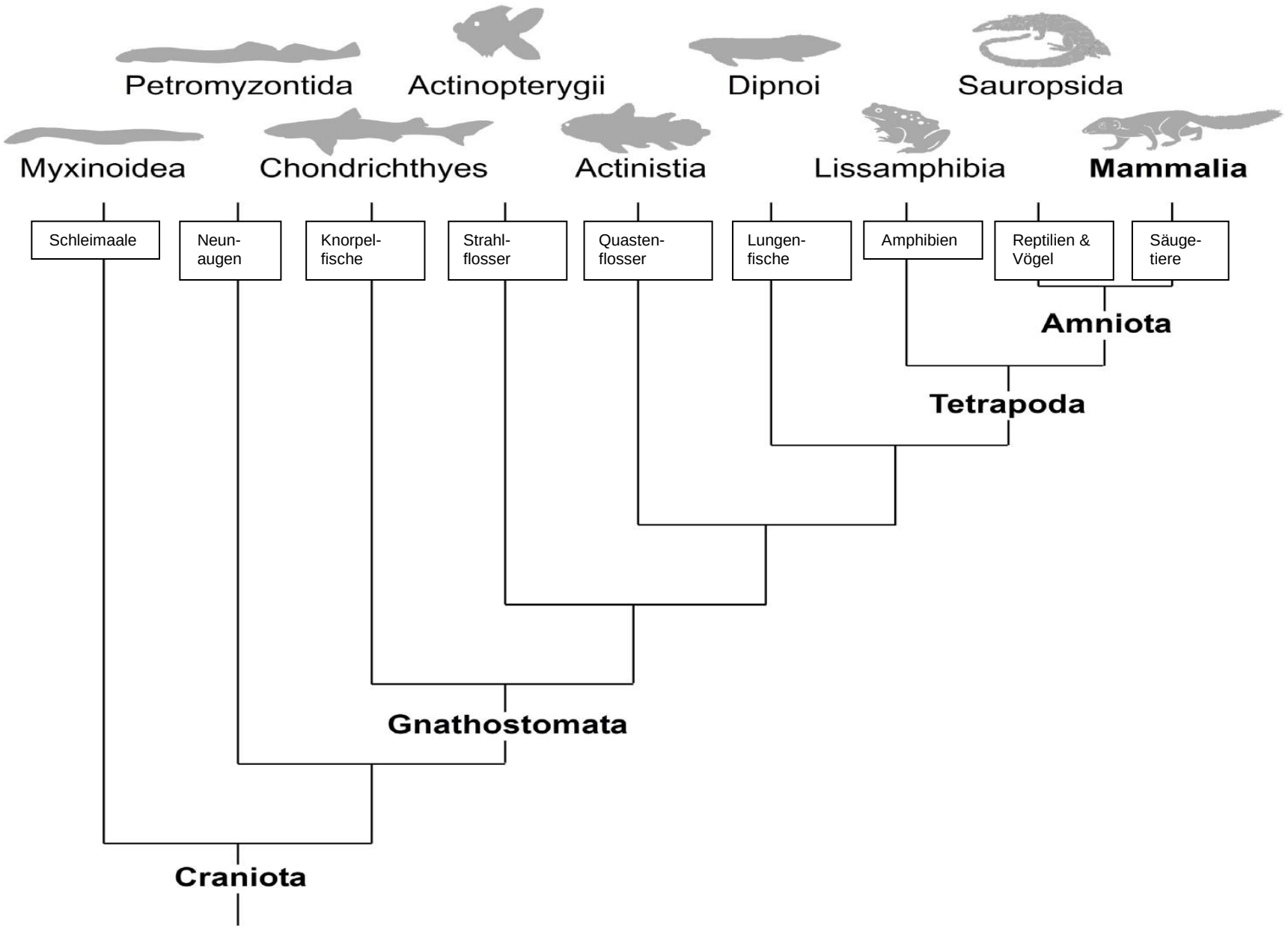
A. **Vorderextremität**



B. **Hinterextremität**

(aus Liem et al: Functional Anatomy of Vertebrates)

Craniota – Oder auch: Vertebrata = Wirbeltiere



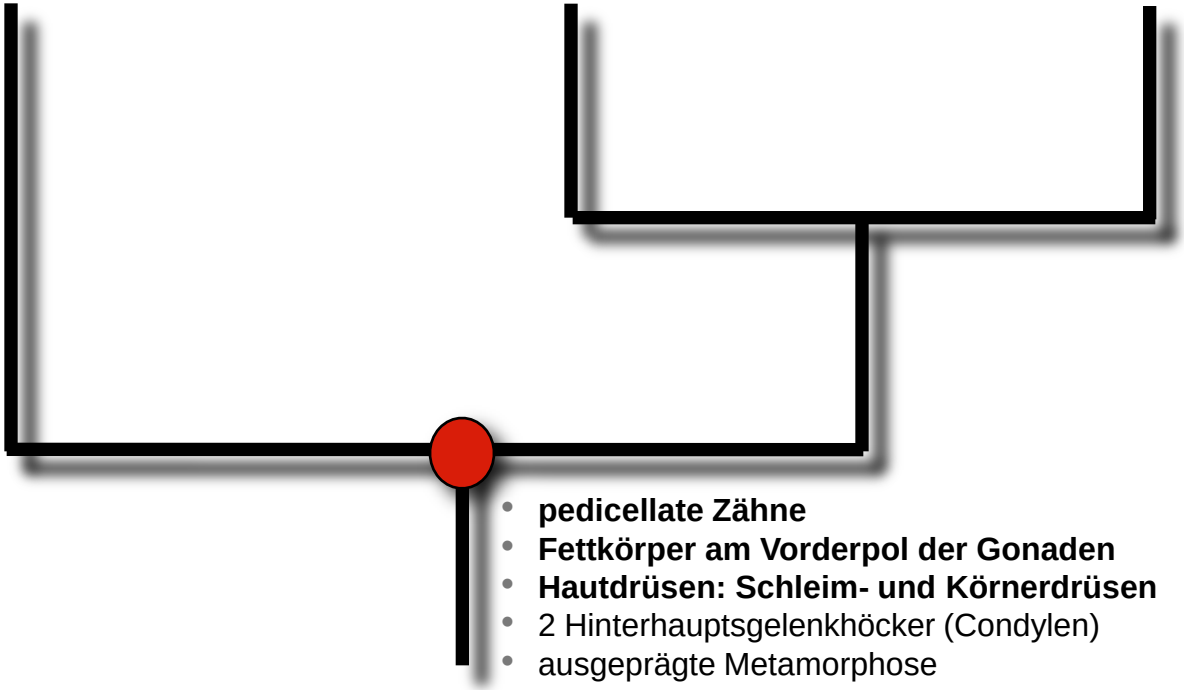
Amphibien

- **drei Evolutionslinien der ältesten Land-Wirbeltiere**

Blindwühlen **(Gymnophiona)**

Froschlurche **(Anura)**

Schwanzlurche **(Caudata)**



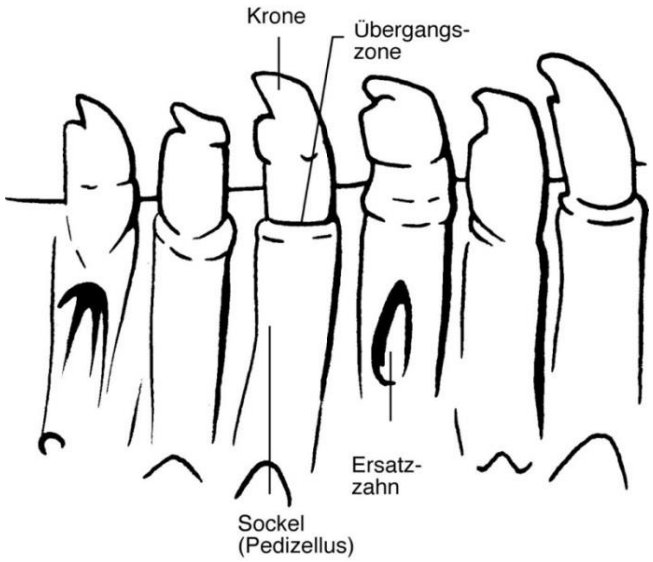
- **pedicellate Zähne**
- **Fettkörper am Vorderpol der Gonaden**
- **Hautdrüsen: Schleim- und Körnerdrüsen**
- 2 Hinterhauptsgelenkhöcker (Condylen)
- ausgeprägte Metamorphose
- Kleinwüchsigkeit

- **seit Devon – 420-360 mya – („Zeitalter der Fische“) an Land**

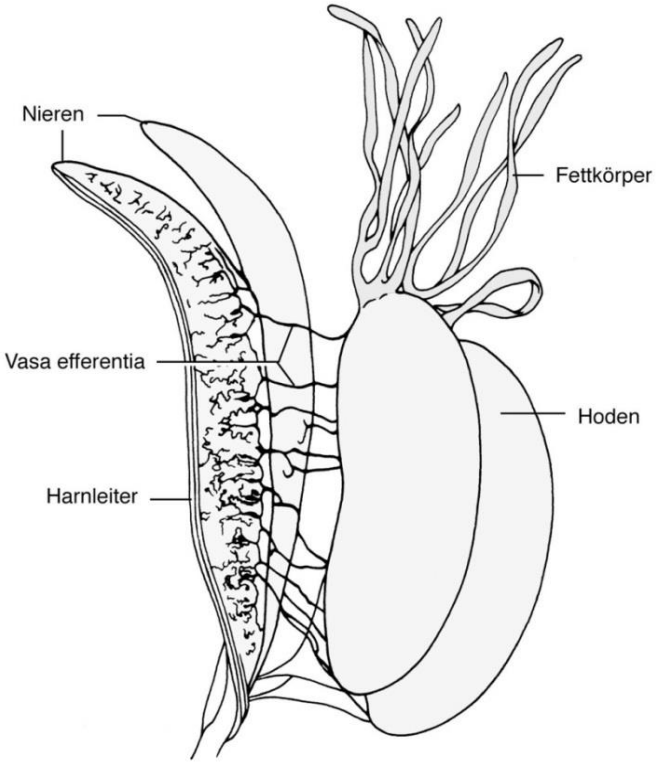
Amphibien

- **Apomorphien**

Zahntyp und Fettkörper



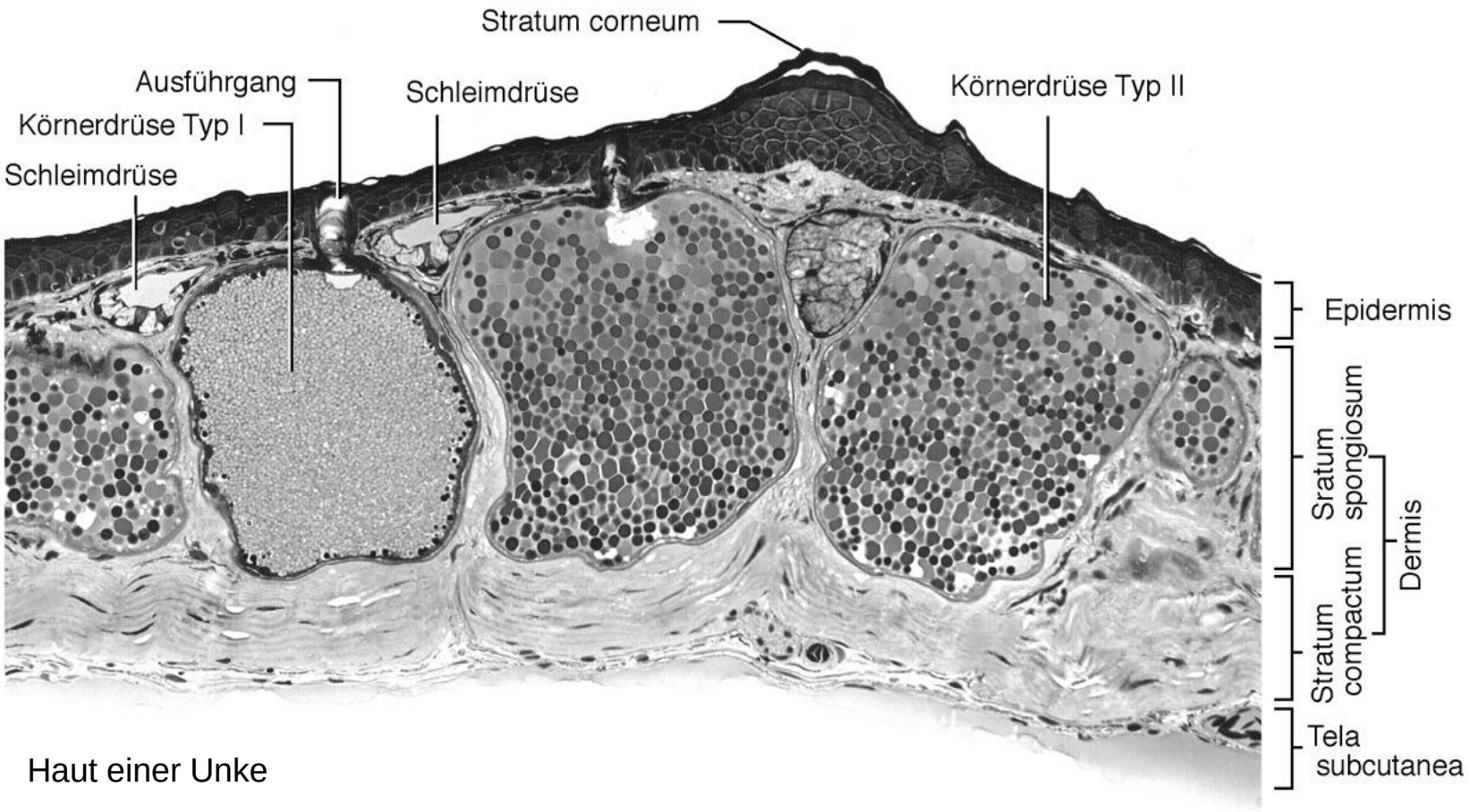
pedicellate Zähne



Gonaden

- **Apomorphien**

Haut: Schleim- und Körnerdrüsen



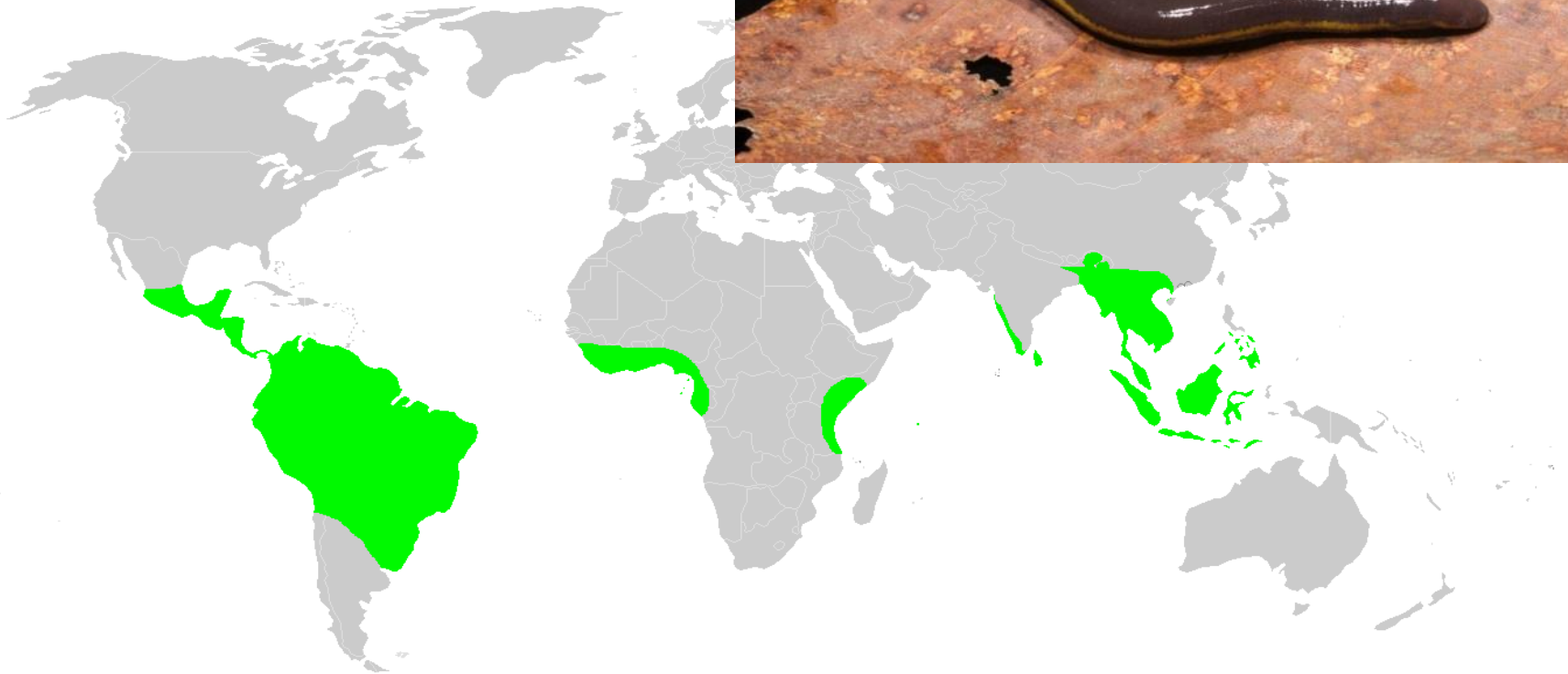
Haut einer Unke

Lissamphibia (Amphibien)

- **Gymnophiona (Blindwühlen)**

Apoda

Verbreitung

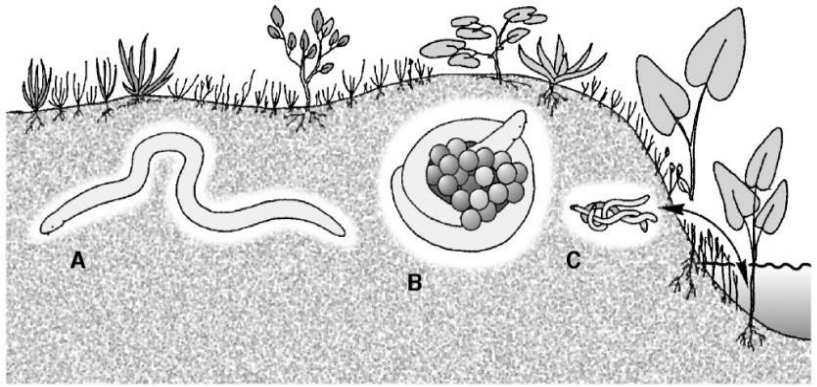


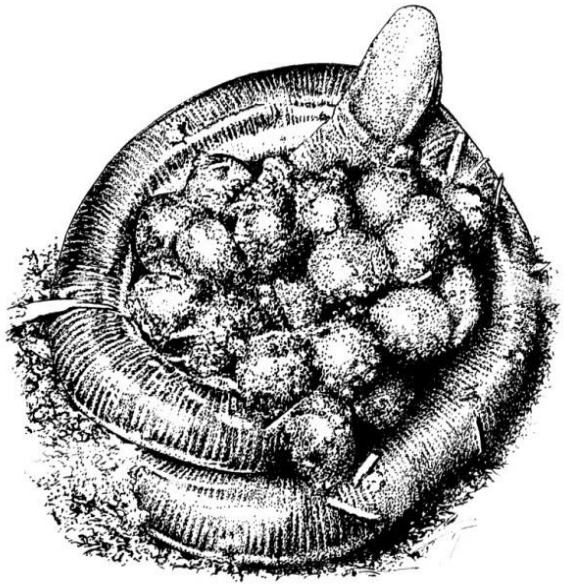
- **leben „regenwurmähnlich“ in feuchter Erde der Tropen**
- **sekundär reduzierte Extremitäten (Konvergenz zu Schlangen)**

Lissamphibia (Amphibien)

- **Gymnophiona (Blindwühlen)**

Fortpflanzung und Entwicklung



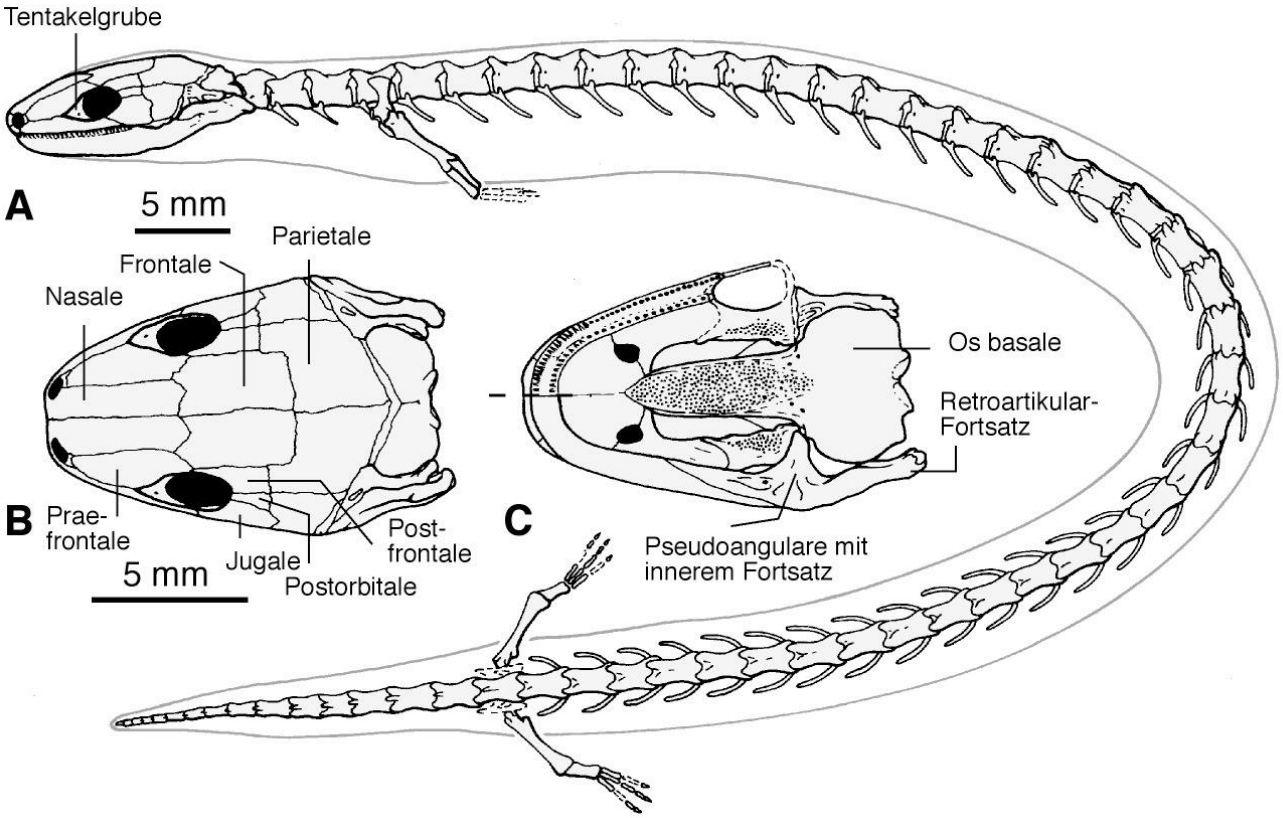


Lissamphibia (Amphibien)

- **Gymnophiona (Blindwühlen)**

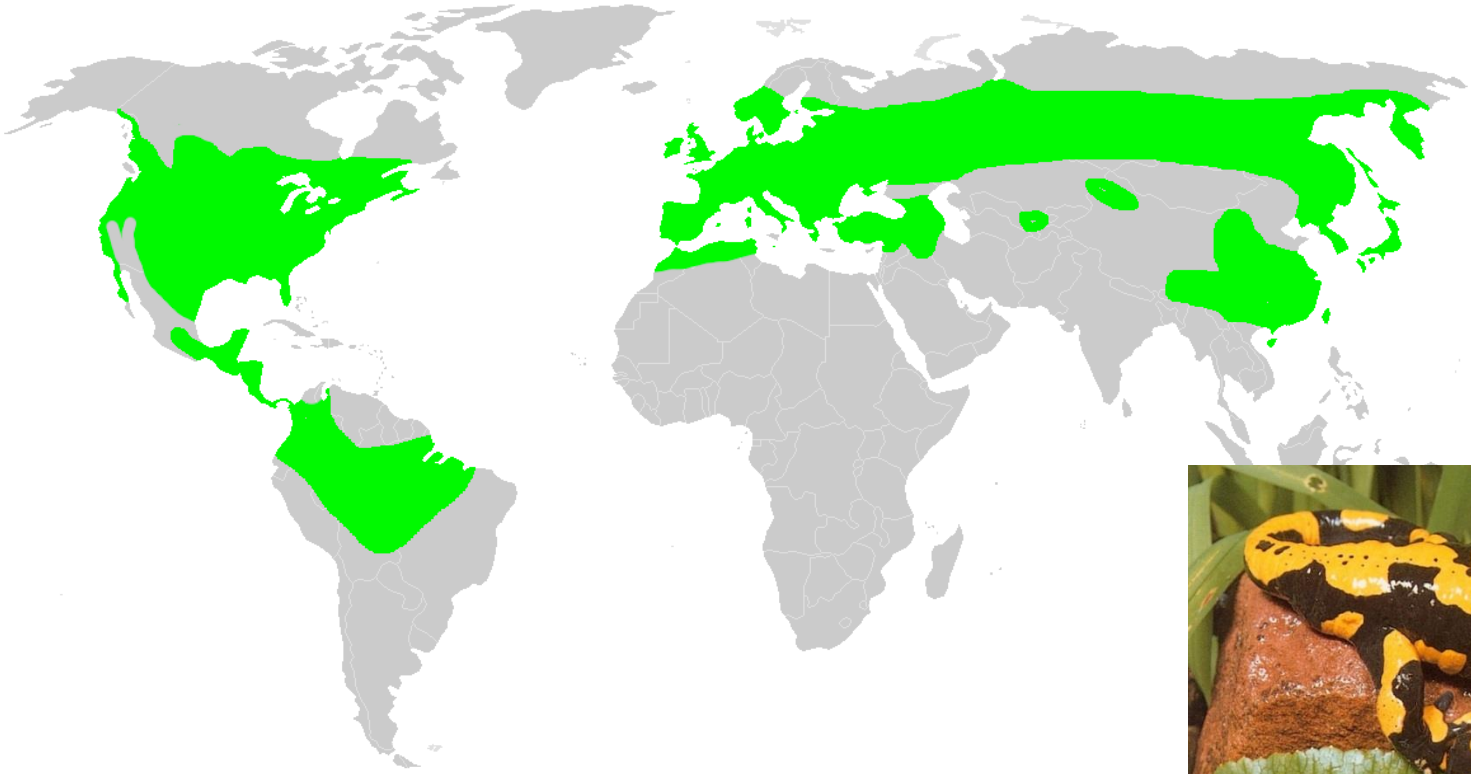
Fossil mit Beinen

Eocaecilia micropodia Jenkins & Walsh 1993.



Lissamphibia (Amphibien)

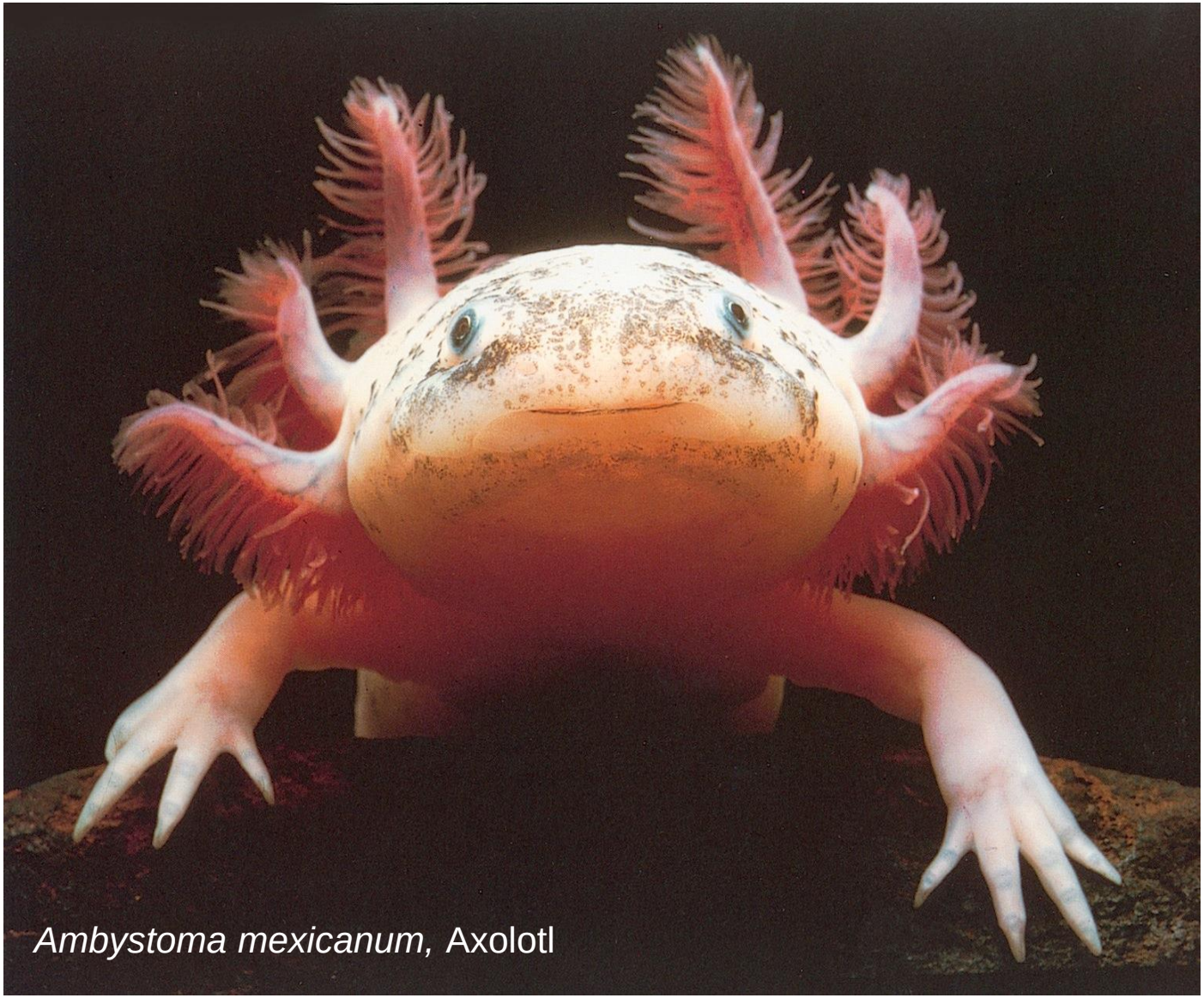
- **Caudata (Urodela; Schwanzlurche)**



Verbreitung

Lissamphibia (Amphibien)

- **Caudata (Urodela; Schwanzlurche)**



Ambystoma mexicanum, Axolotl

Lissamphibia (Amphibien)

- **Caudata (Urodela; Schwanzlurche)**

Triturus sp., Kammmolche

Lissamphibia (Amphibien)

- **Caudata (Urodela; Schwanzlurche)**

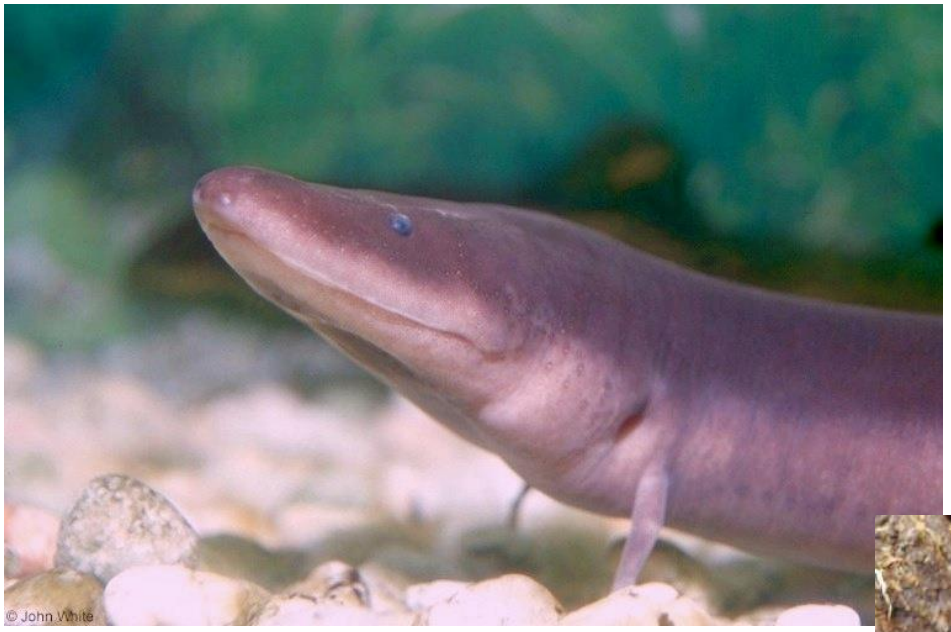
Winkelzahnmolche (Hynobiidae)

Batrachuperus mustersi

Lissamphibia (Amphibien)

- **Caudata (Urodela; Schwanzlurche)**

Aalmolche (Amphiumidae)



Lissamphibia (Amphibien)

- **Caudata (Urodela; Schwanzlurche)**

Amphiuma tridactylum

© 2008 Brad Moon

Lissamphibia (Amphibien)

- **Caudata (Urodela; Schwanzlurche)**

Olme und Furchenmolche (Proteidae)

Lissamphibia (Amphibien)

- **Caudata (Urodela; Schwanzlurche)**

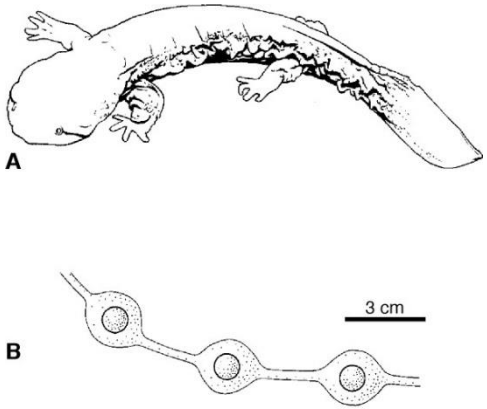
Lungenlose Salamander (Plethodontidae)

Lissamphibia (Amphibien)

- **Caudata**

Fortpflanzung und Entwicklung

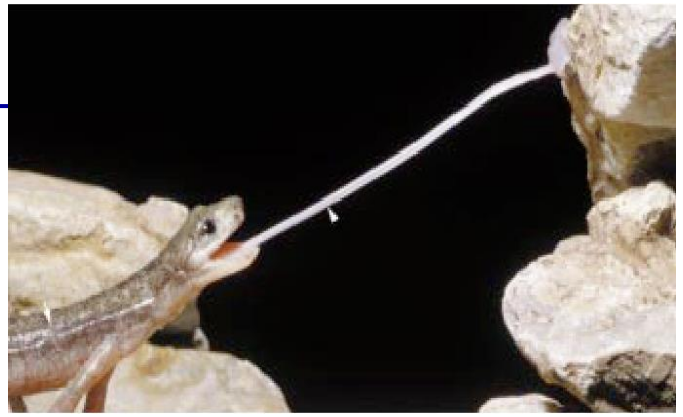
Riesensalamander
Andrias davidianus

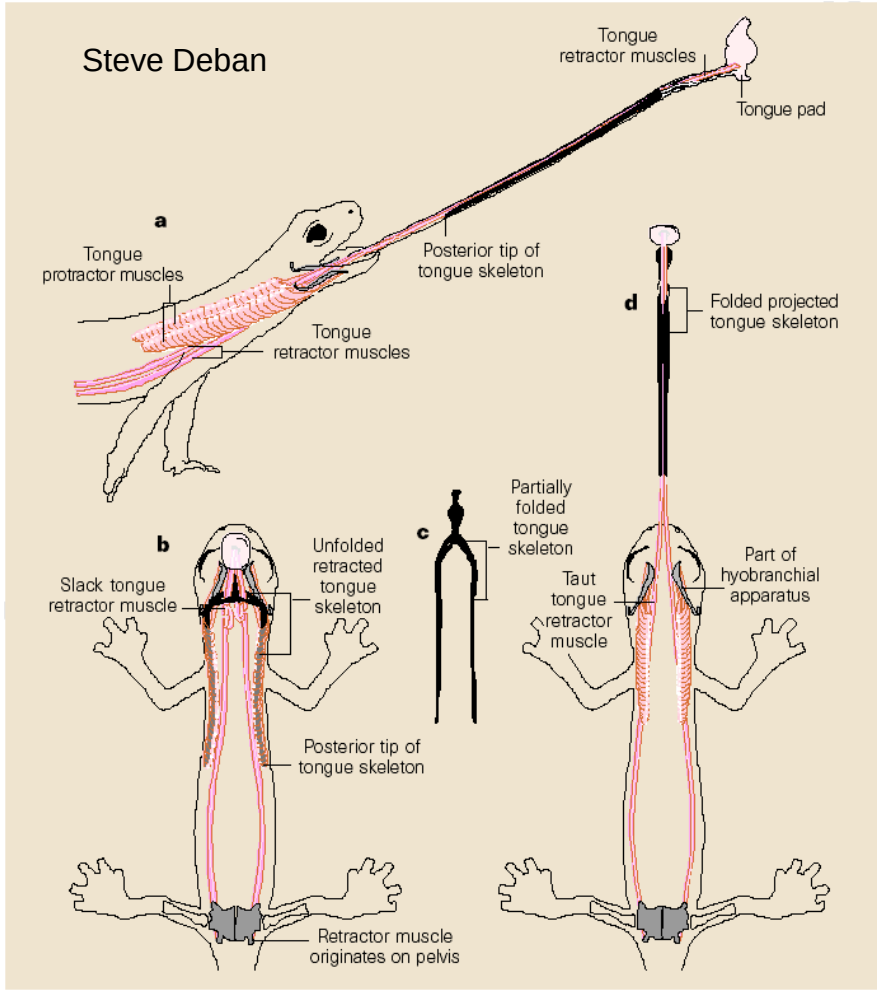


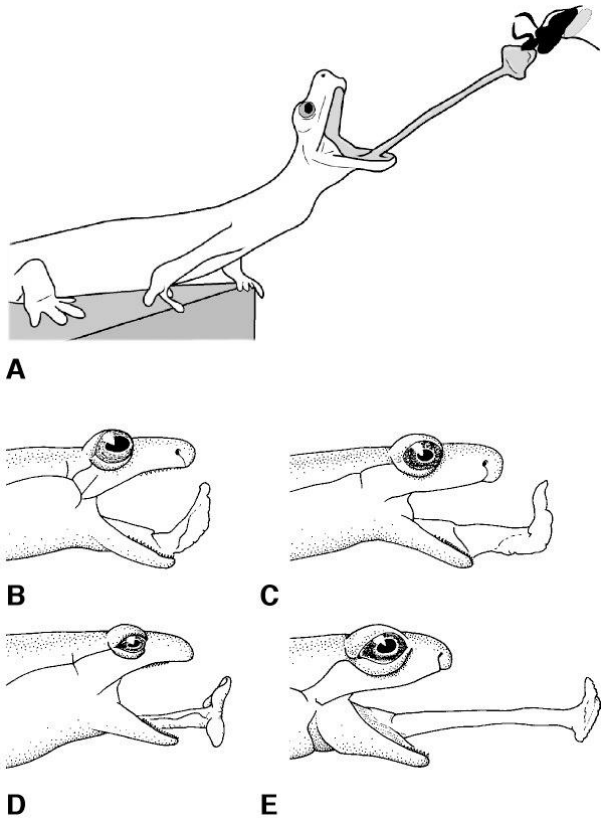
Lissamphibia (Amphibien)

- **Caudata (Urodela; Schwanzlurche)**

Hyobranchialapparat

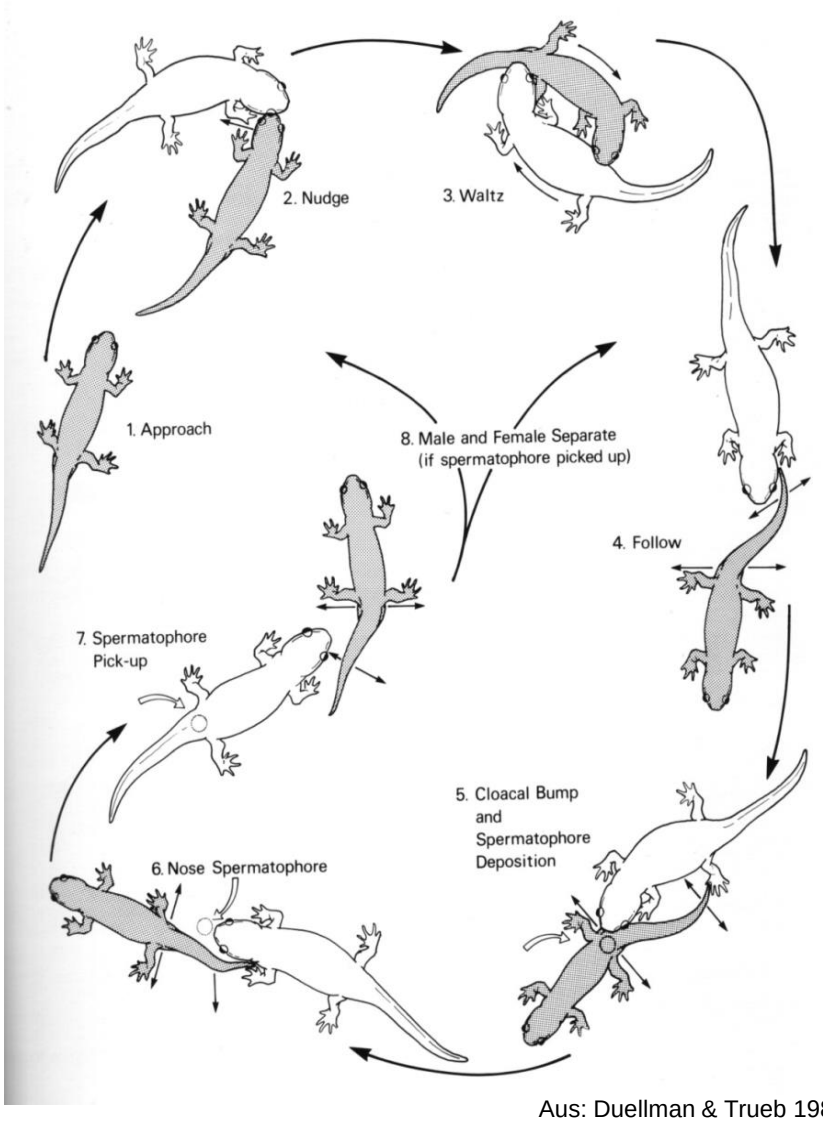




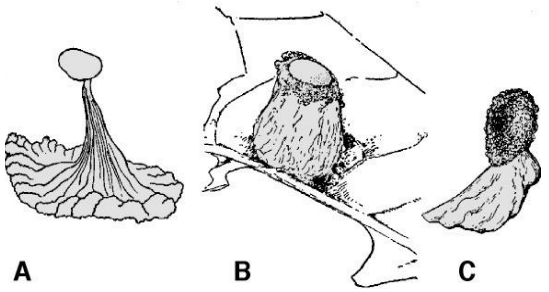


Lissamphibia (Amphibien)

- **Caudata (Urodela; Schwanzlurche)**



Aus: Duellman & Trueb 1986



Spermatophoren

Fortpflanzung und Entwicklung

Lissamphibia (Amphibien)

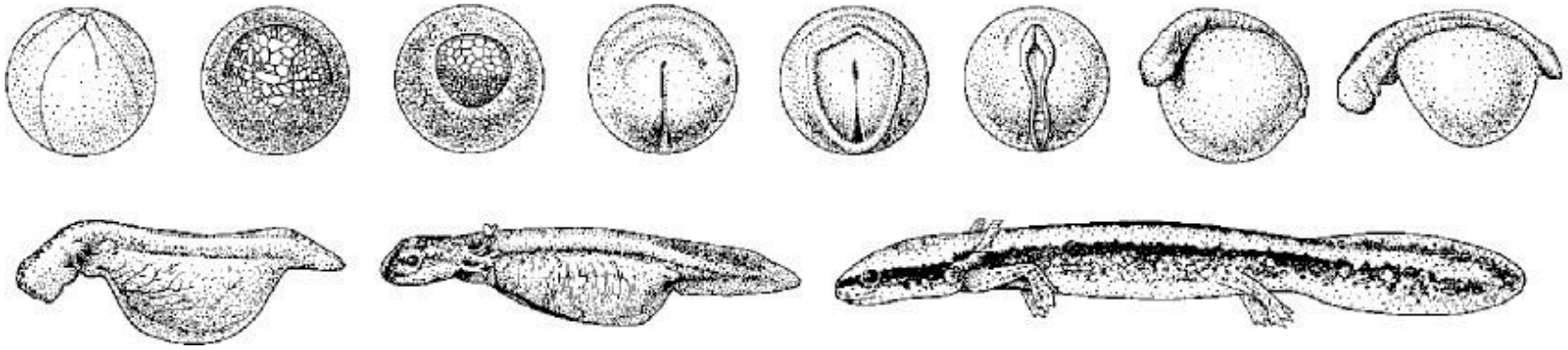
- **Caudata**

  (Urodela; Schwanzlurche)

Lissamphibia (Amphibien)

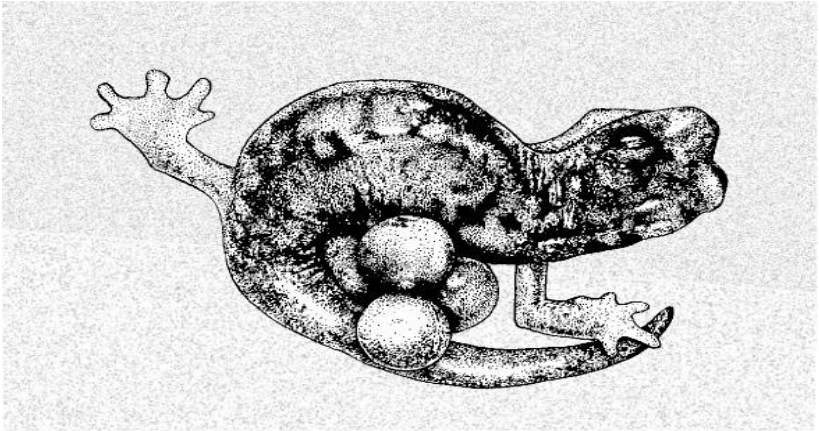
- **Caudata (Urodela; Schwanzlurche)**

Fortpflanzung und Entwicklung



Lissamphibia (Amphibien)

- **Caudata (Urodela; Schwanzlurche)**



Hydromantes imperialis (Plethodontidae)

Salamandra salamandra (Salamandridae)

- **2010-2013: Niederlande**
  starben 99,9% d. Salamander

- ***Batrachochytrium salamandrivorans* (Bs)**

„Salamanderfresser“ - Pilz befällt Haut der Tiere, Hautnekrosen bei Kontakt mit wenigen Pilzsporen
- aus Asien über Handel mit Amphibien eingeschleppt;
- keine Resistenz gegen Krankheitserreger

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura (Froschlurche)**

- **2004: Panama**

  starben 95 % aller Amphibien

- ***Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd)**

Lissamphibia (Amphibien)

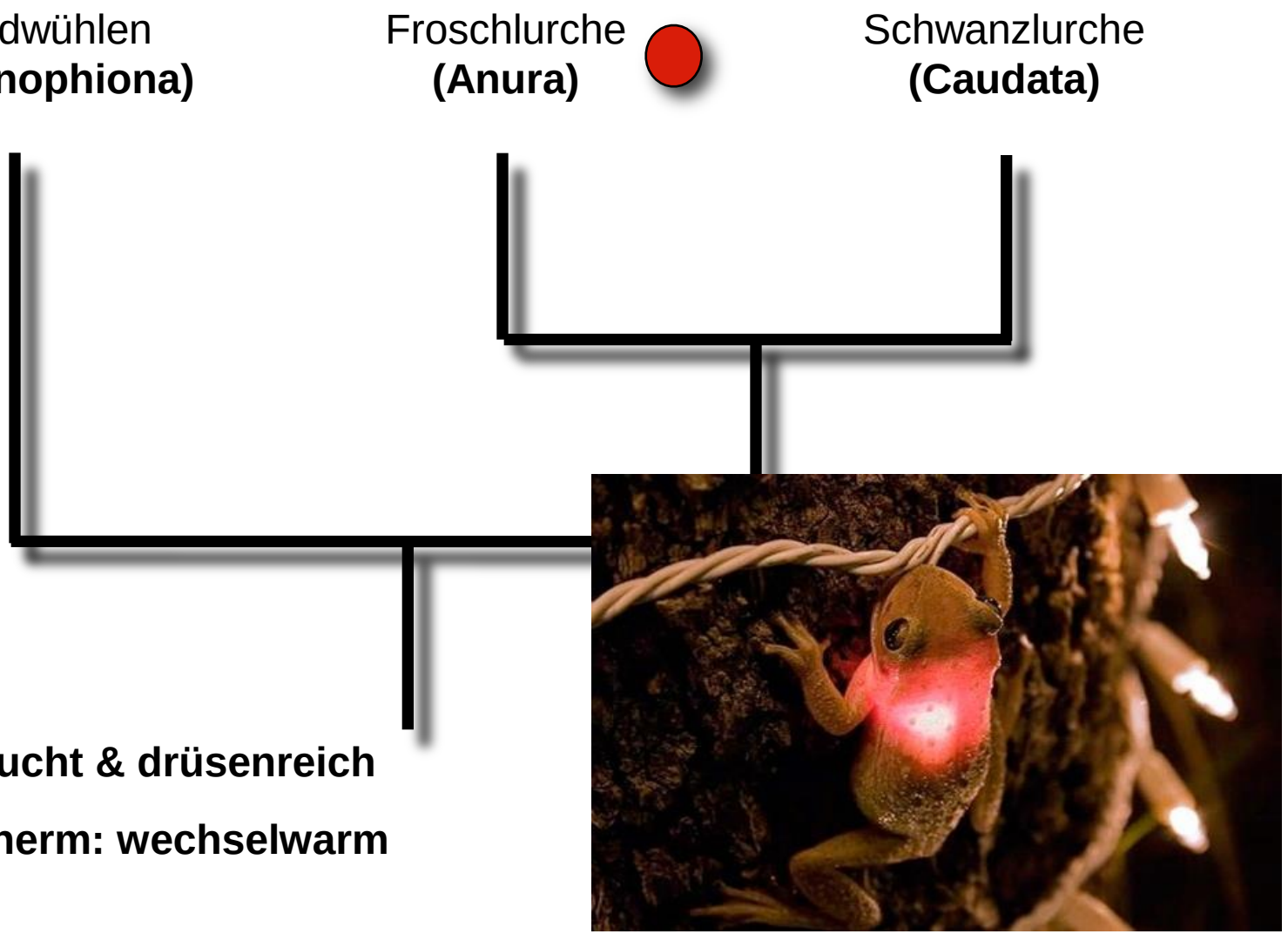
- **Anura**

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura (Froschlurche)**

Amphibien

- **drei Evolutionslinien der ältesten Land-Wirbeltiere**



- **Haut: feucht & drüsenreich**
- **Poikilotherm: wechselwarm**

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**

Ceratophrys ornata (Ceratophryidae); Rio Cuarto, Argentinien

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**

Pyxicephalus adspersus, Südafrika

Lissamphibia (Amphibien)

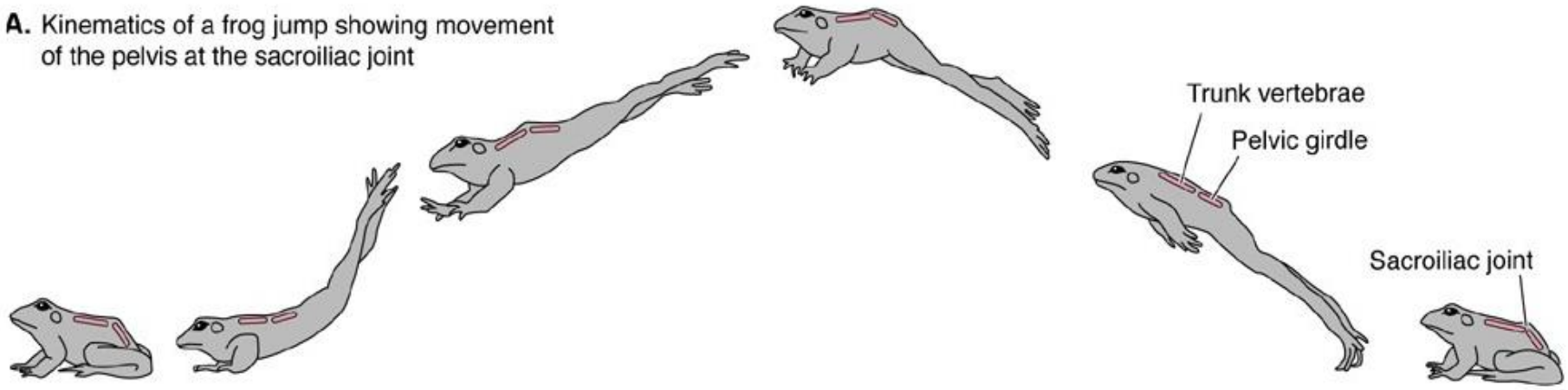
- **Anura**

Breviceps mossambicus (Microhylidae)

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**

Froschsprung


A. Kinematics of a frog jump showing movement of the pelvis at the sacroiliac joint
Trunk vertebrae
Pelvic girdle
Sacroiliac joint

- **Haut: feucht & drüsenreich**
- **Poikilotherm: wechselwarm**

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura: feste Verbindung von Beckengürtel mit Sakralwirbel der Wirbelsäule**

iliosacraler Komplex

Jenkins, F. A. and N. H. Shubin. 1998. Prosalirus bitis and the anuran caudopelvic mechanism. J. Vertebrate Paleontology 18: 495-510.

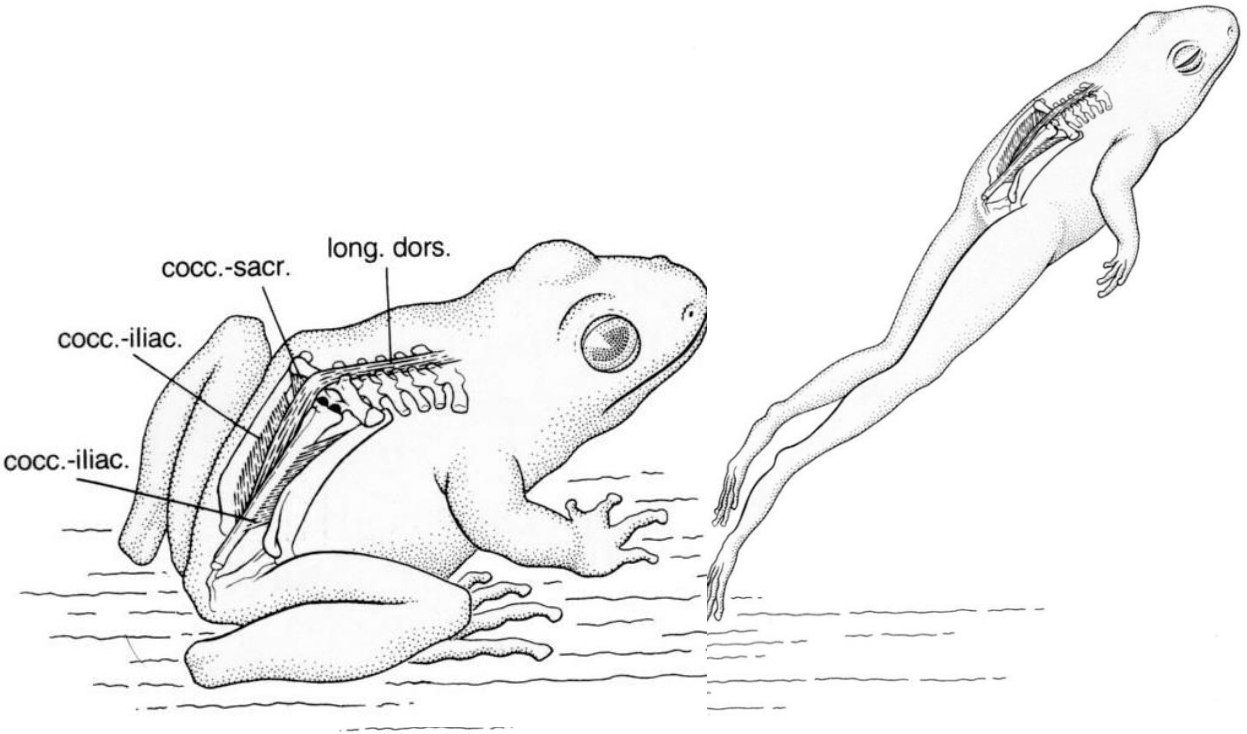
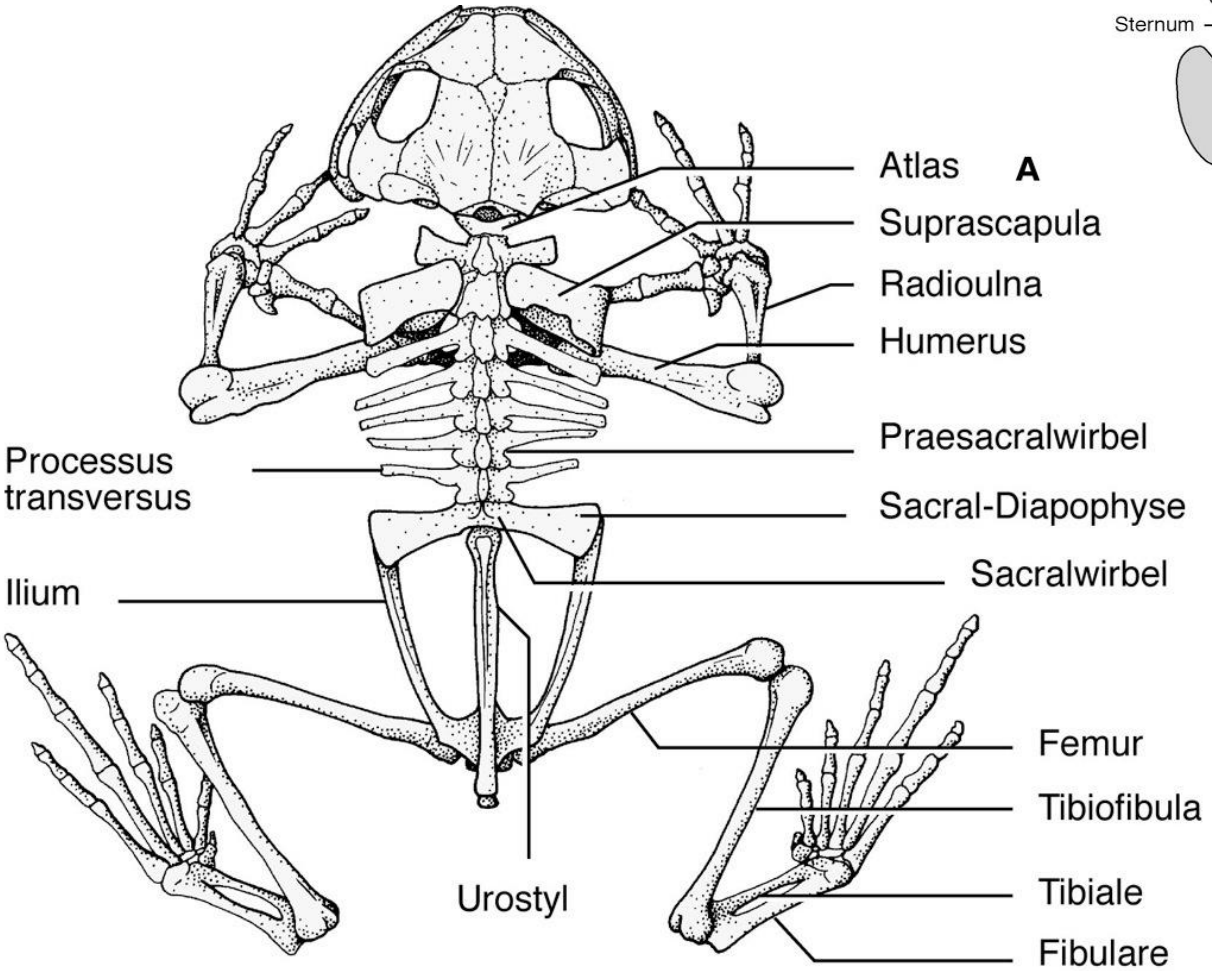


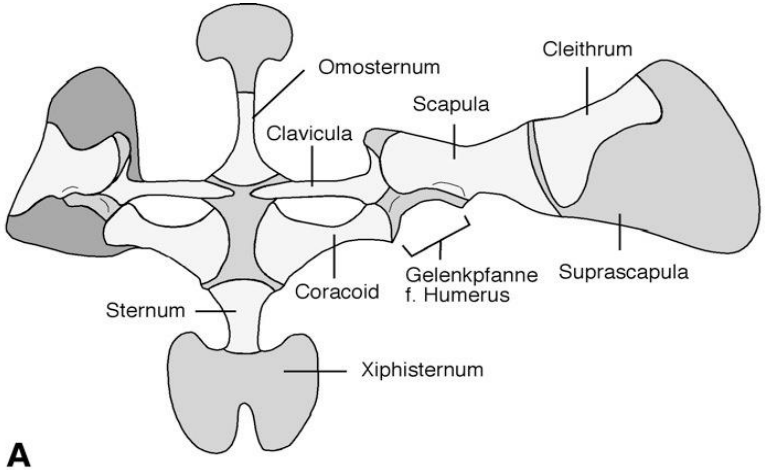
FIGURE 11. The anuran caudopelvic mechanism for saltation. In a stationary posture the ilio-sacral and sacro-urostylic joints are flexed, resulting in angulation between the ilia+urostyle and the sacrum+presacral vertebrae. During the early (launch) phase of a jump, this angle increases as the trunk extends and is aligned with the propulsive thrust of the forelimbs. The urostyle remains in its original position between the ilia. Extension of the trunk occurs through the actions of the longissimus dorsi (long. dors.) and coccygeo-sacralis (cocc.-sacr.) muscles, aided by the thrust of the forelimbs as they push off. This movement entails rotation at the ilio-sacral joints and extension at the sacro-urostylic joint. In most Recent anurans, the sacro-urostylic joint is bicondylar and uniaxial, essentially restricting movements to flexion and extension. During the launch phase, activity of the coccygeo-iliacus (cocc.-iliac.) muscles transmits propulsive force from the ilia to the urostyle and thus to the trunk, and supports the linkage between ilia and sacrum. The longissimus dorsi and coccygeo-sacralis muscles on the right are not illustrated in order to show the bicondylar sacro-urostylic joint (condyles solid black).

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**

Skelett

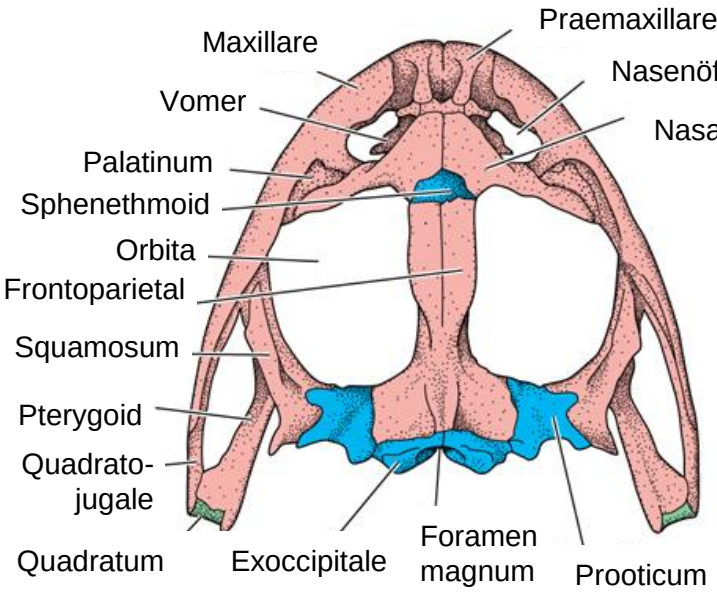




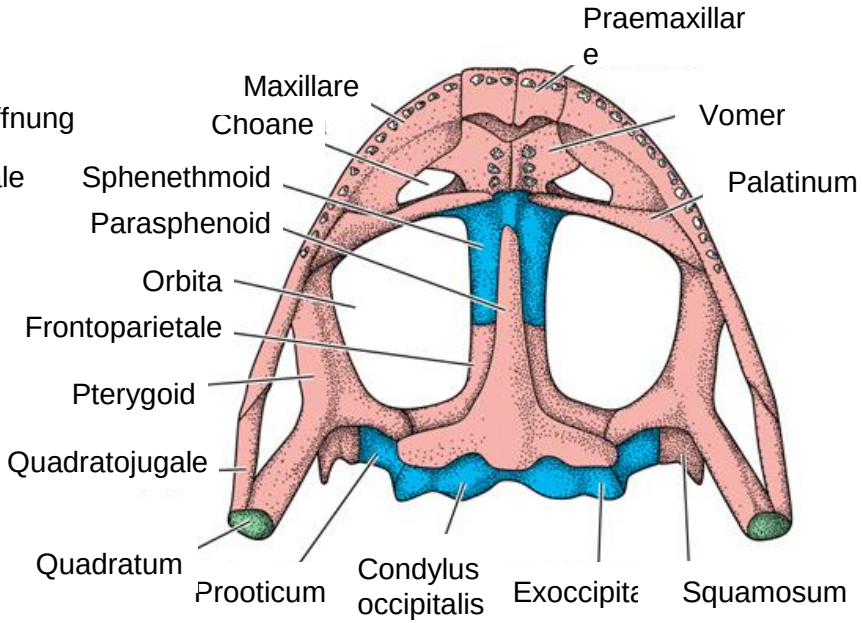
Schultergürtel

- **Anura: Hinterhauptsgelenk, Condyli (fehlt bei Fischen)**

Schädel



Schädel *Rana*, dorsal



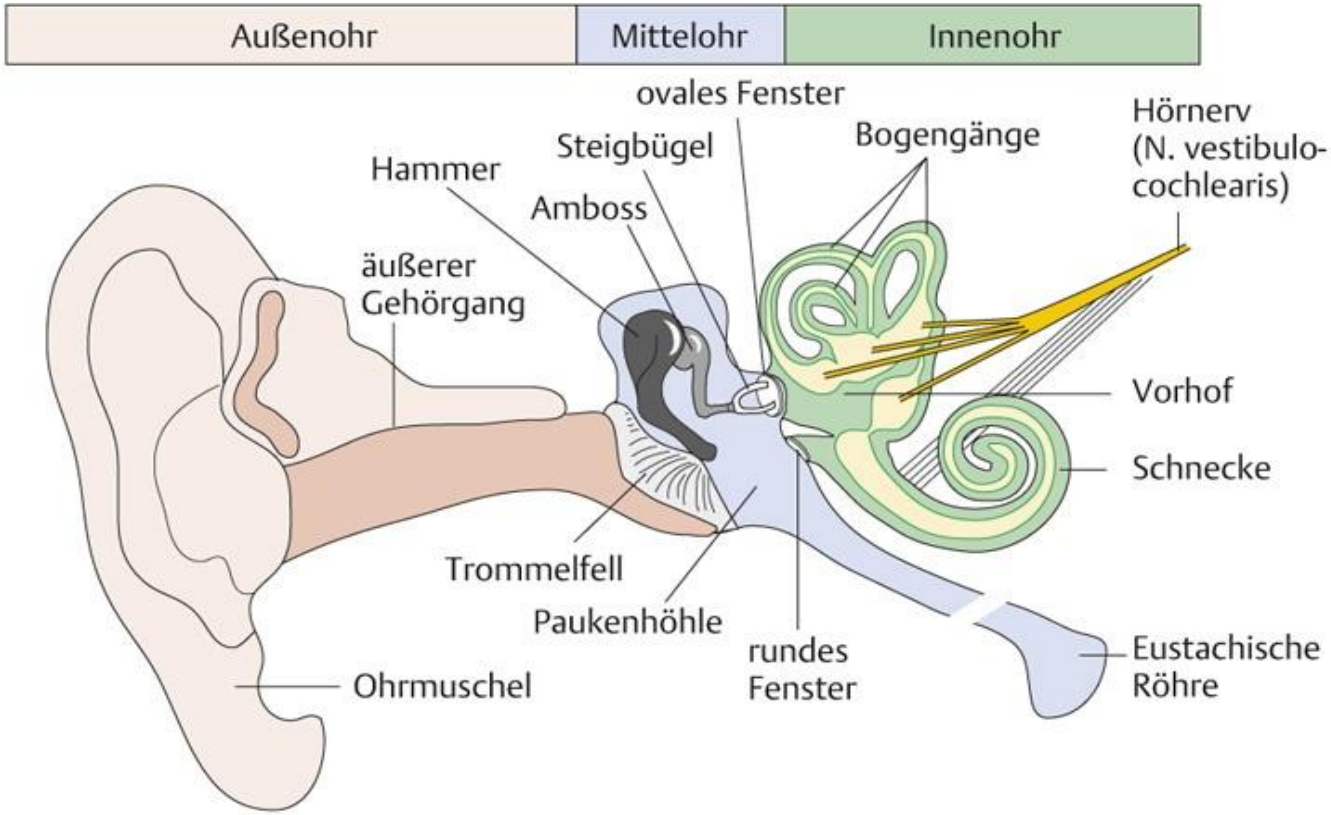
Schädel *Rana*, ventral

(aus Liem et al.: Functional Anatomy of Vertebrates)

- **Ohr der Säuger**

Amboss (Incus) aus Quadratum der Amphibia

(Hammer/Malleus aus Articulare / Meckel. Knorpel)

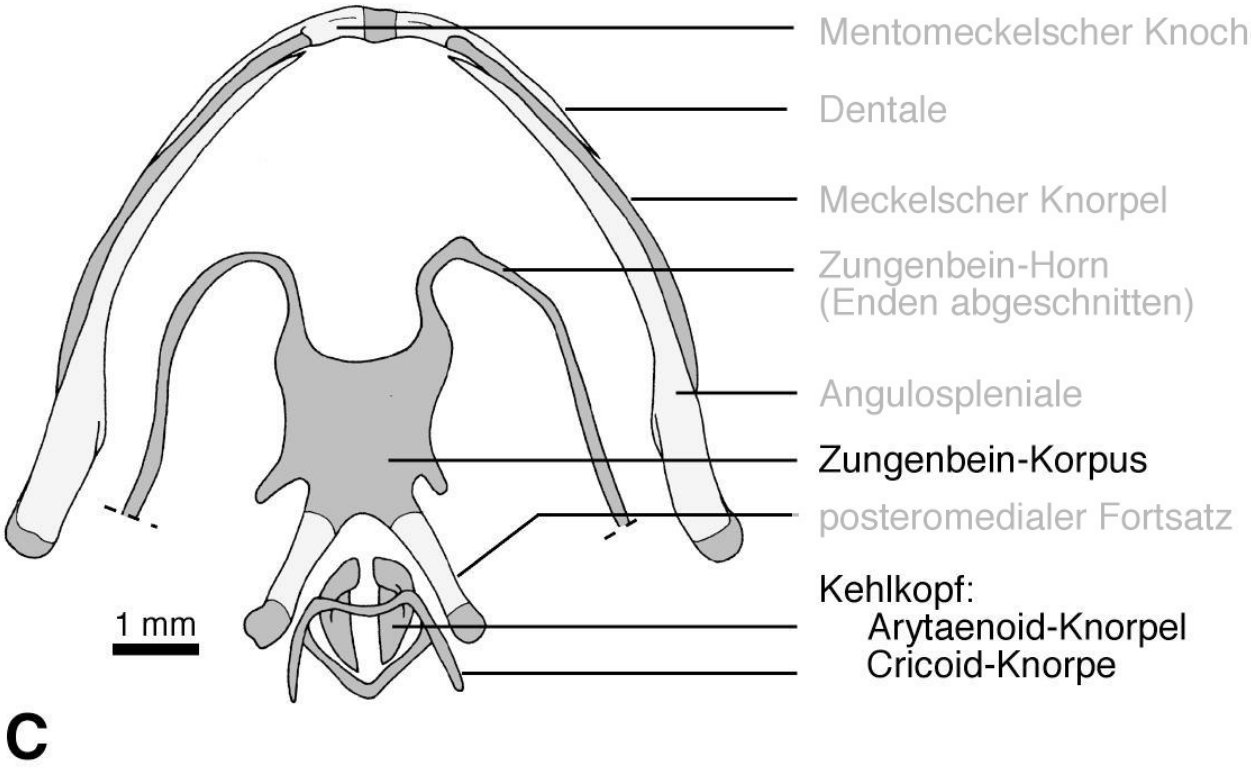


Georg Thieme Verlag, Stuttgart · New York · 2011
Munk et al.: Taschenlehrbuch Biologie – Zoologie

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**

Unterkiefer und Hyobranchialapparat

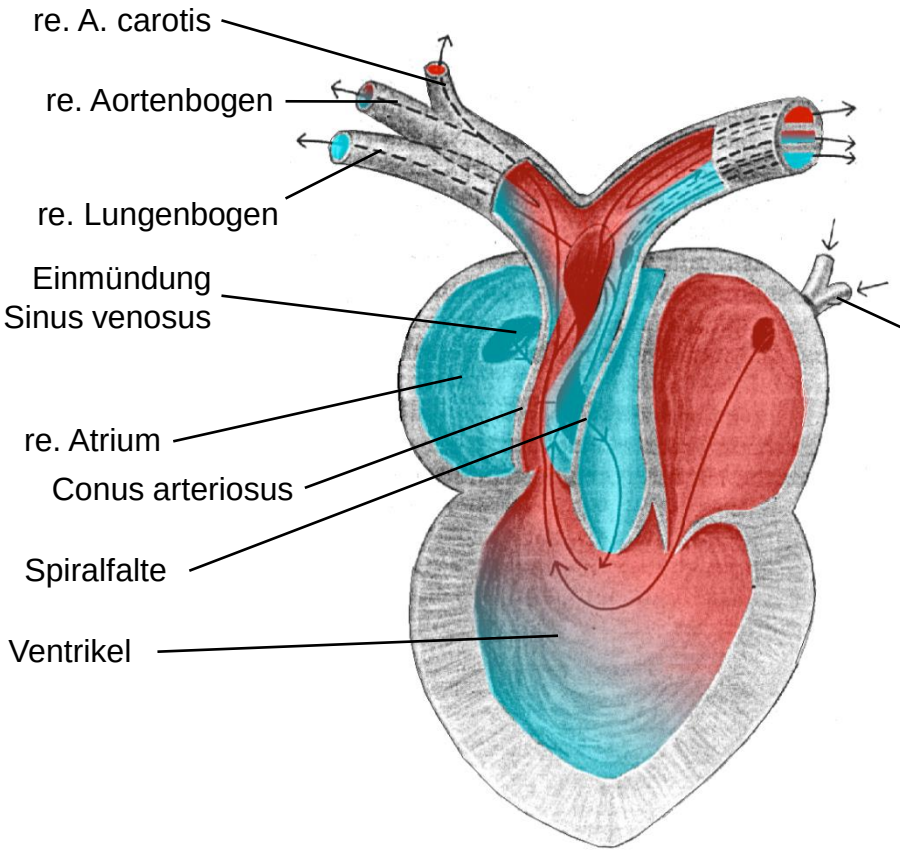


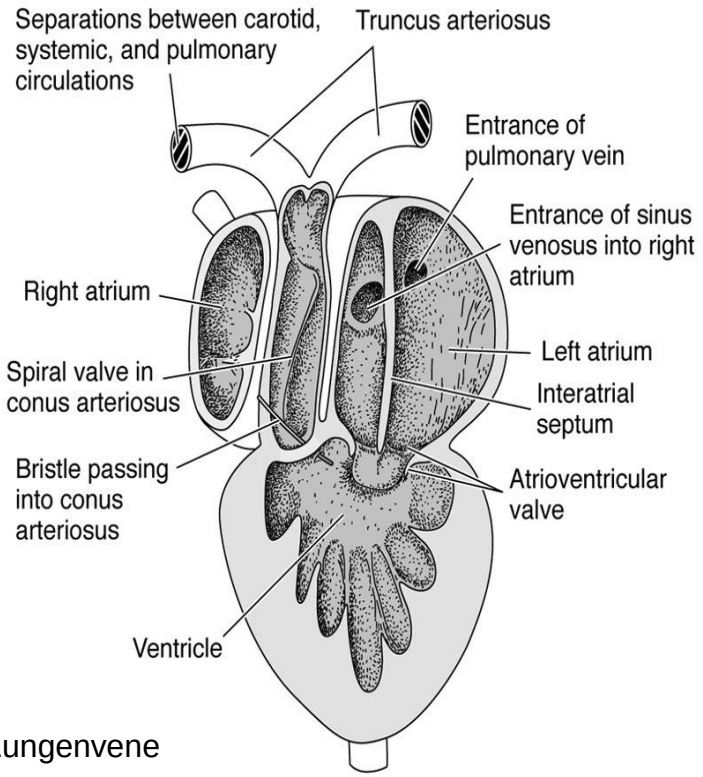
Lissamphibia (Amphibien)

- **2 Atrien, ungeteilte Herzkammer**

Blutkreislaufsystem der Amphibien

Froschherz





- **Verteilung ?**

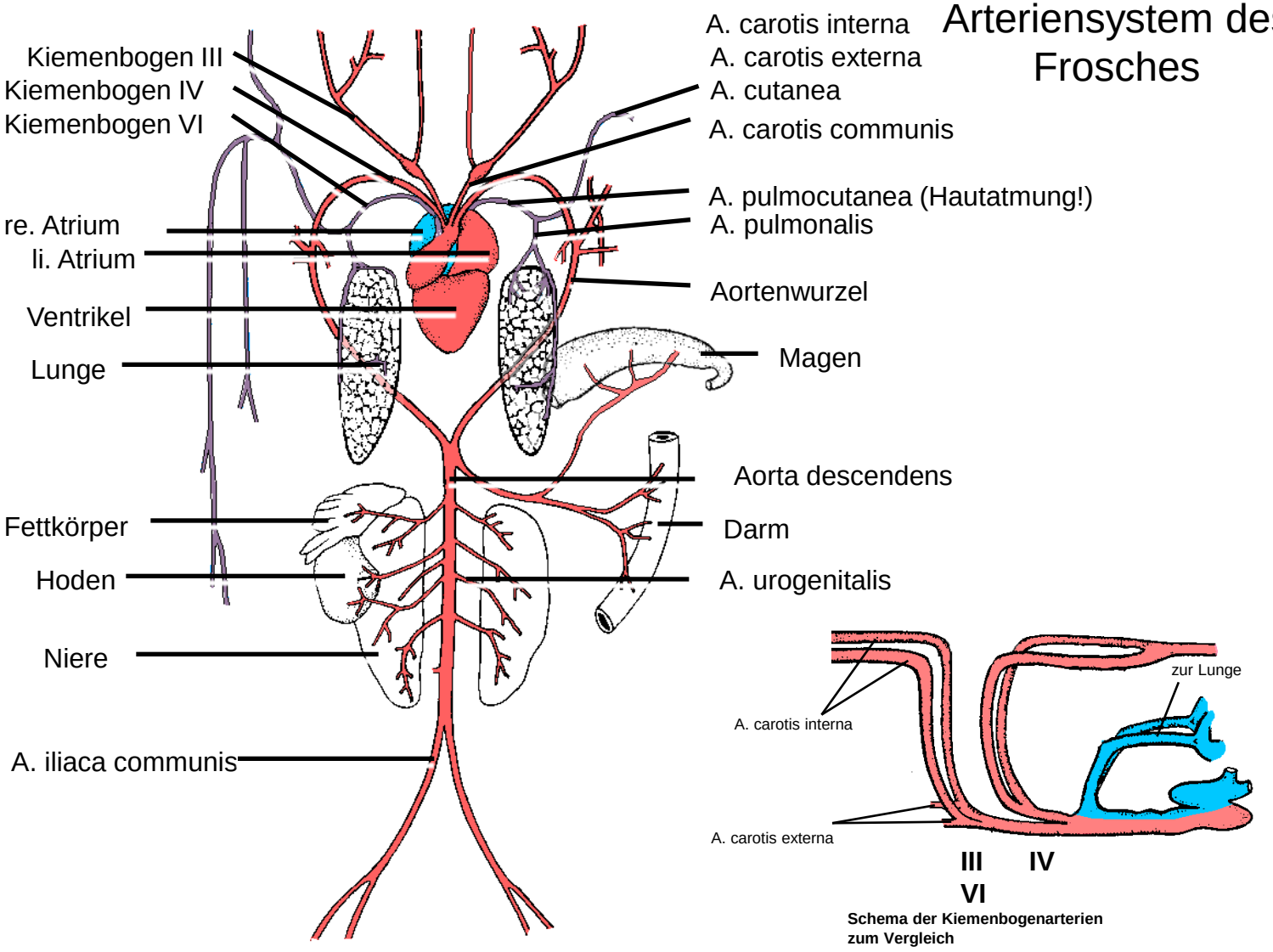
Kopf – sauerstoffreich

Körper – „gemischt“

Lunge – sauerstoffarm

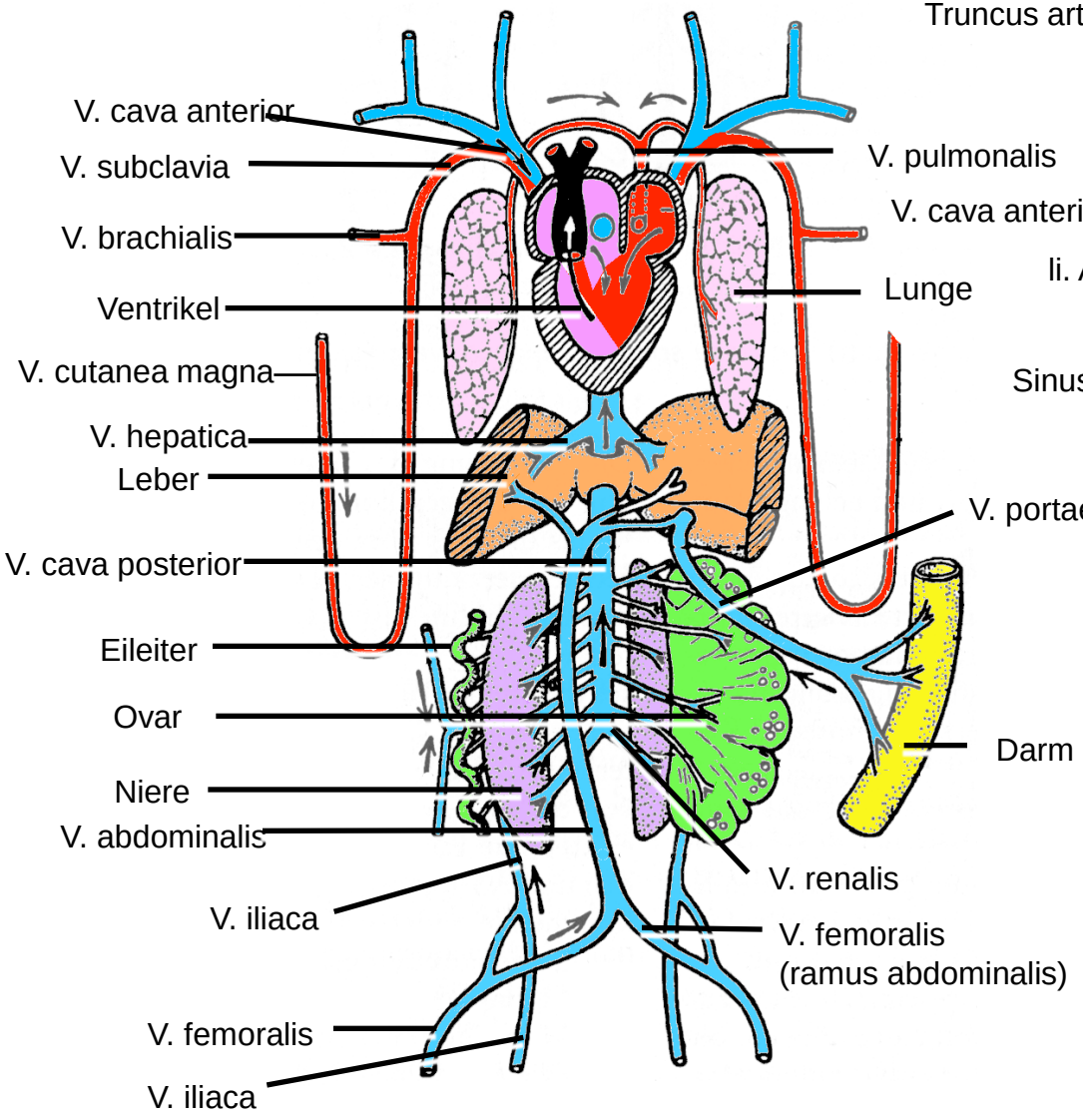
Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**

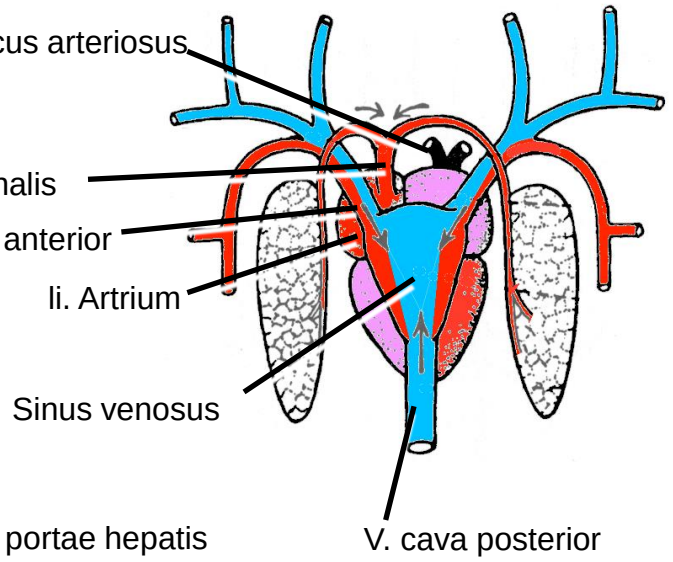


Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**



A Ansicht von ventral

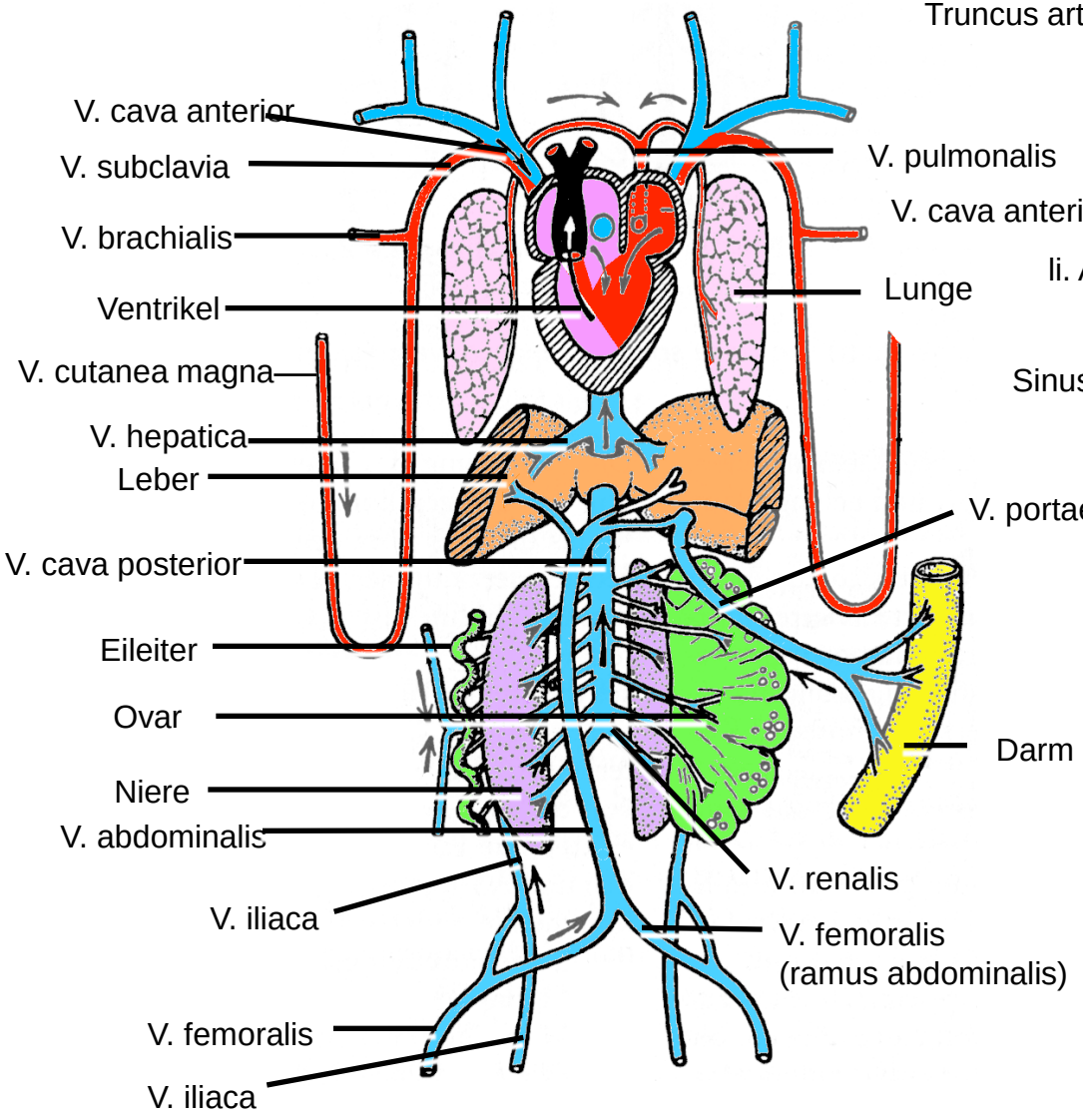


B Ansicht von dorsal

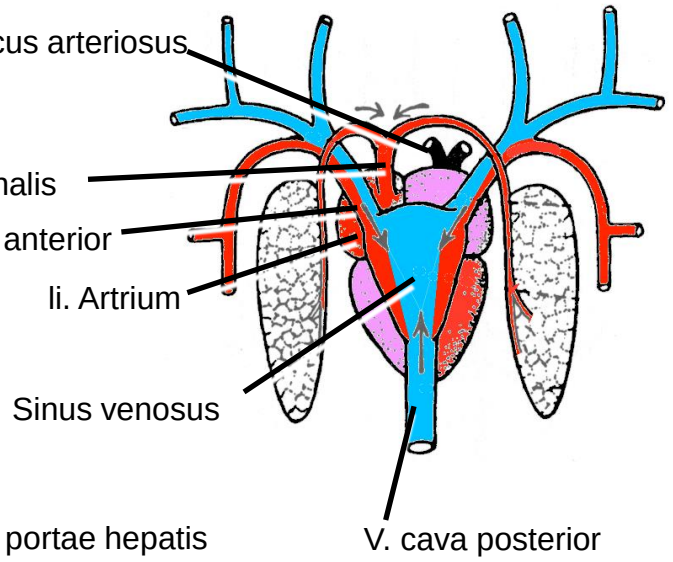
Venensystem des Frosches

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**



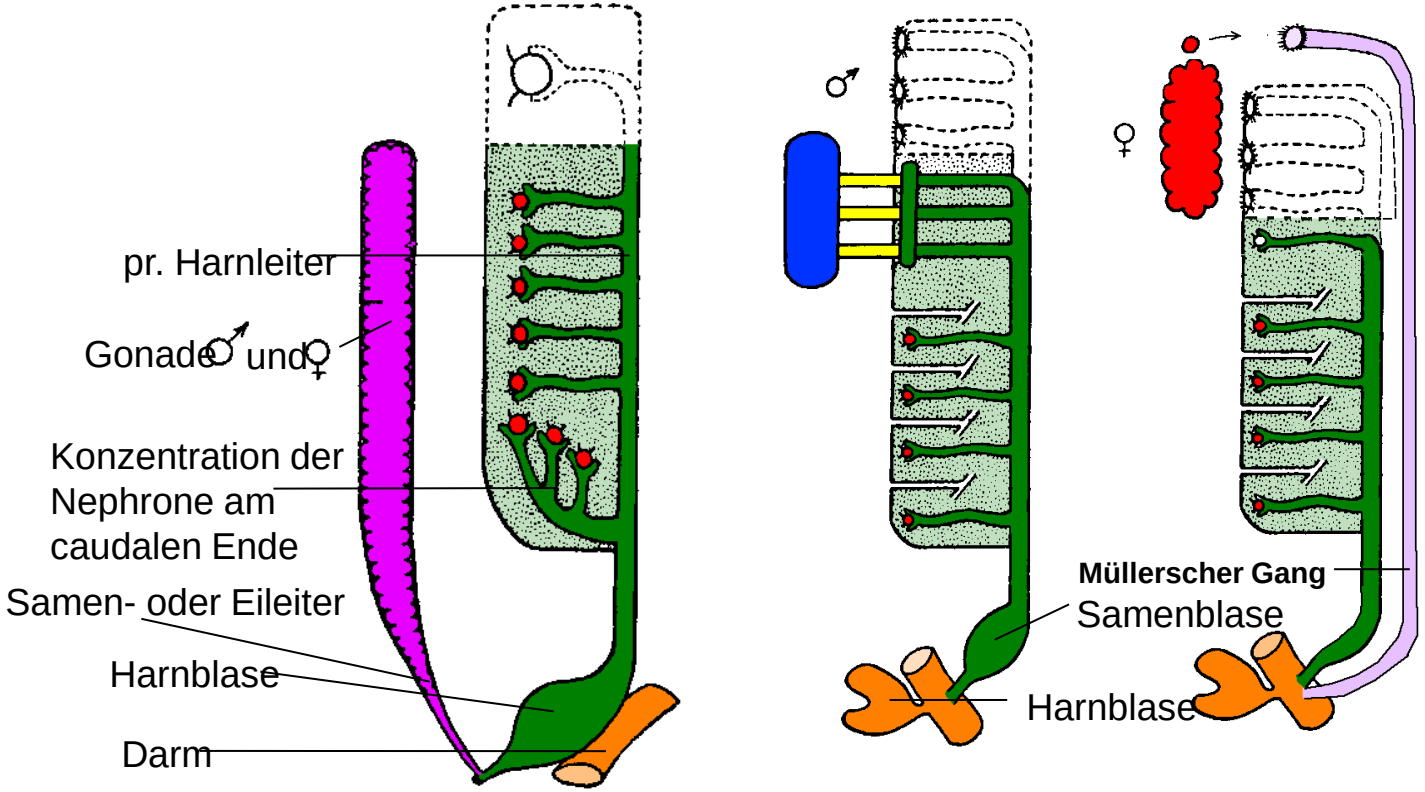
A Ansicht von ventral



B Ansicht von dorsal

Venensystem des Frosches

Die Verbindung zwischen Gonade und Niere
im Wandel der Vertebratenentwicklung II



C Gonaden- Nieren-Beziehung
bei **Teleosteern**

D Gonaden- Nieren-Beziehung
bei **Amphibien**

Lissamphibia (Amphibien)

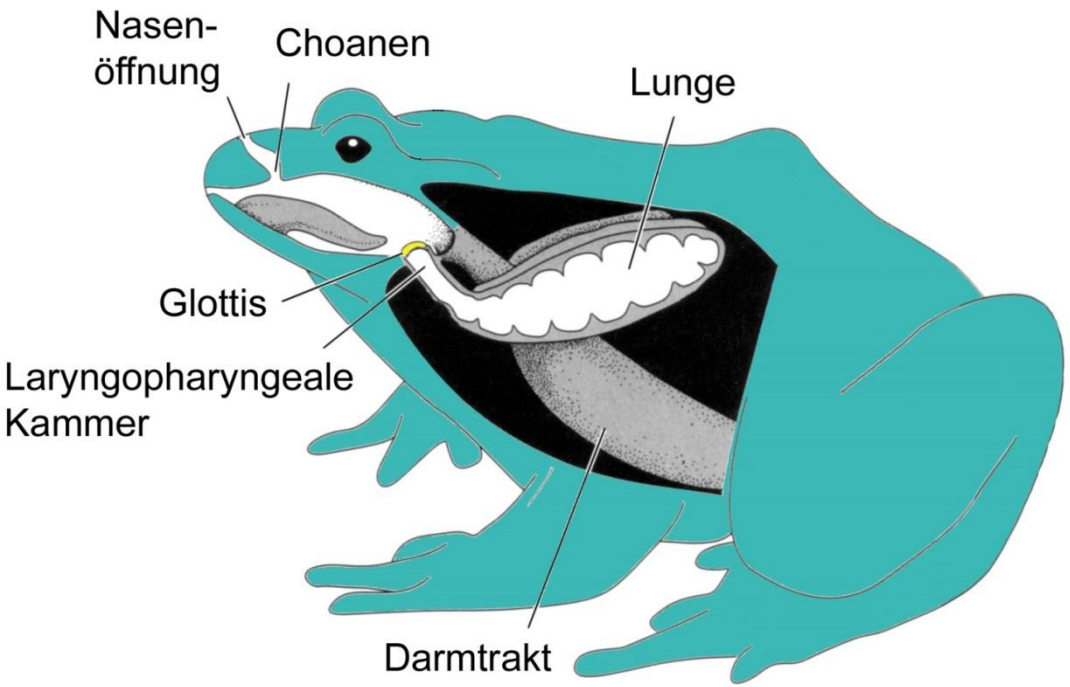
- **Anura**

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**

Atmung, Frosch

Mechanismus: Druckatmung



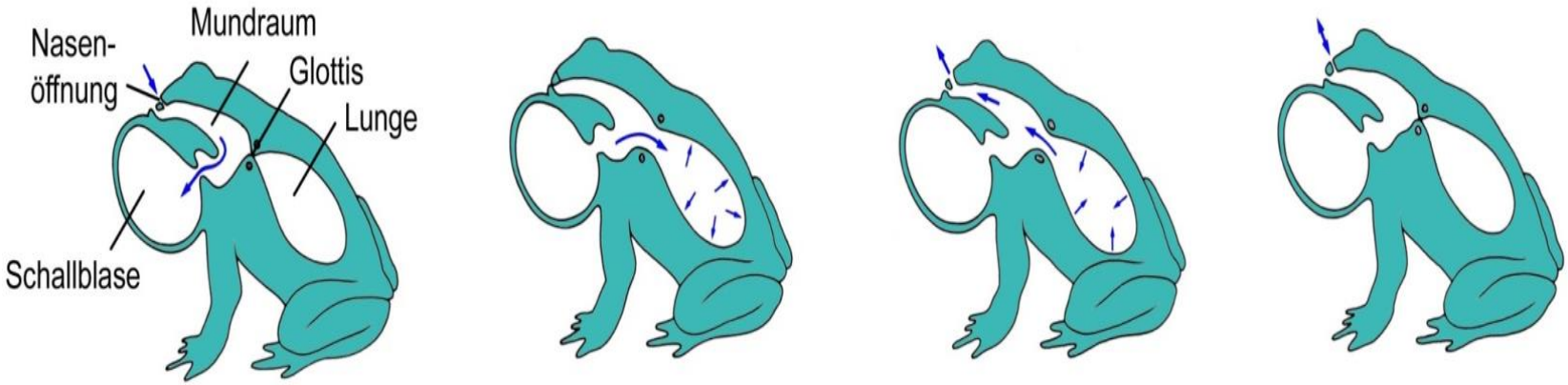
(aus Liem et al: Functional Anatomy of Vertebrates)

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**

Atmung und Ruf beim Frosch

Mechanismus: Druckatmung



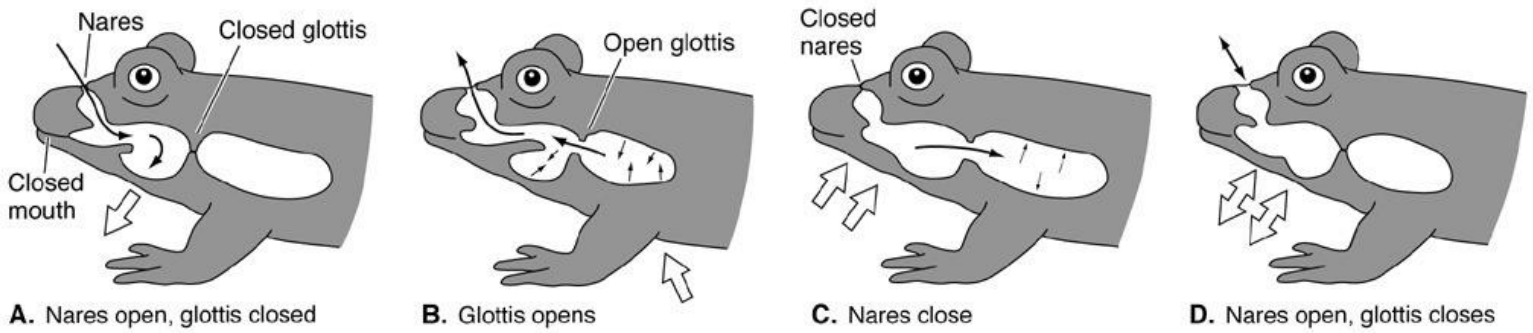
(aus Liem et al: Functional Anatomy of Vertebrates)

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**

Atmung und Ruf beim Frosch

Mechanismus: Druckatmung



1. Mundhöhlenatmung bei geschlossener Glottis und offenen Nasenlöchern
2. Luft wird in die Lunge gepresst durch Heben des Mundhöhlenbodens
3. Expiration durch Eigenelastizität der Lunge
4. Mehrere Zyklen der Mundhöhlenatmung schließen sich an

(aus Liem et al: Functional Anatomy of Vertebrates)

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**

Anura, Fortpflanzung

Flectonotus

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**

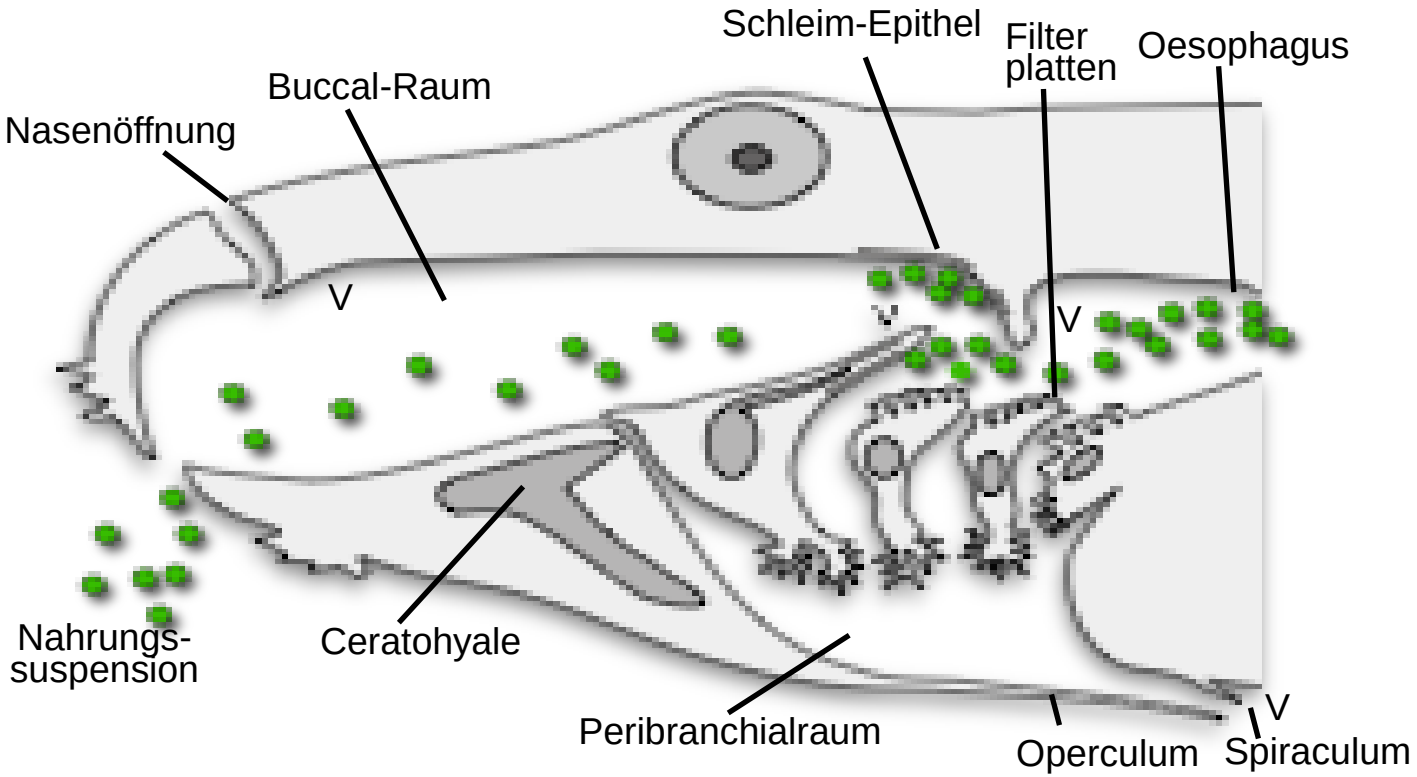
Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura – Metamorphose zur lungenatmenden Landform**

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**

Kaulquappe: Filtration



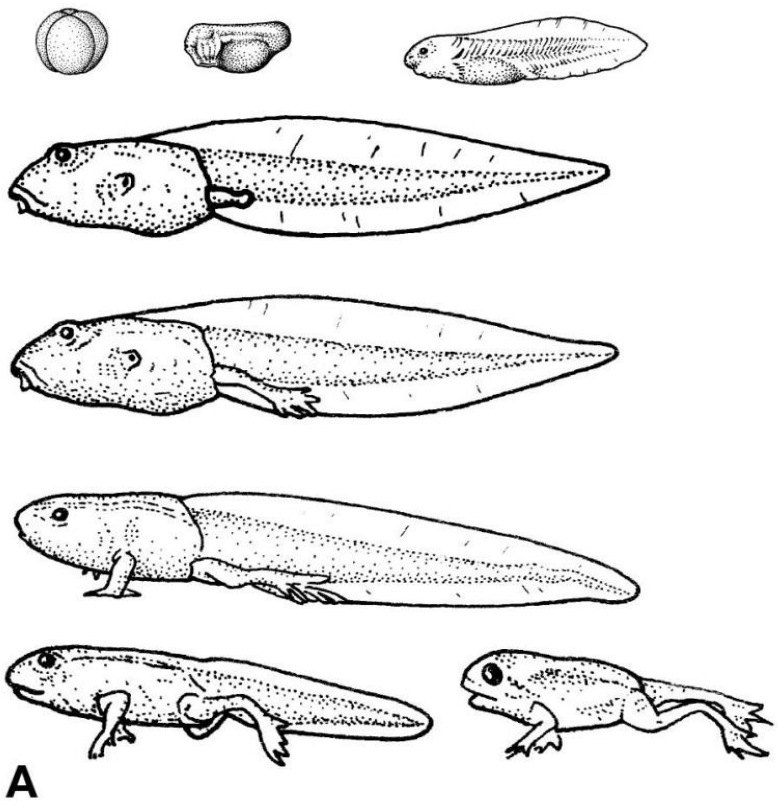
V = Ventilklappen

- **Anura + Caudata: Larvalentwicklung mit Kiemenatmung im Wasser**

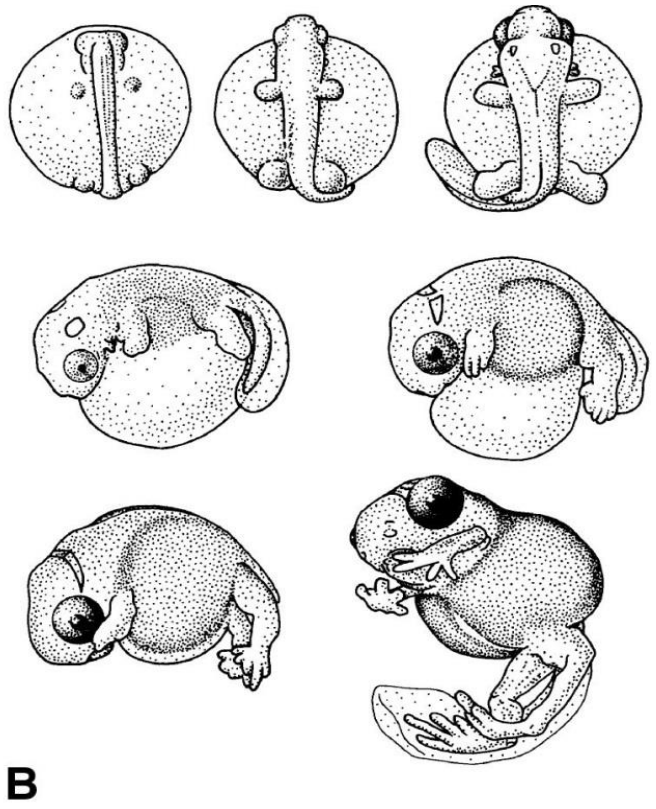
Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**

Entwicklung



Larvalentwicklung mit Metamorphose



Direkte Entwicklung

Lissamphibia (Amphibien)

- **Anura**

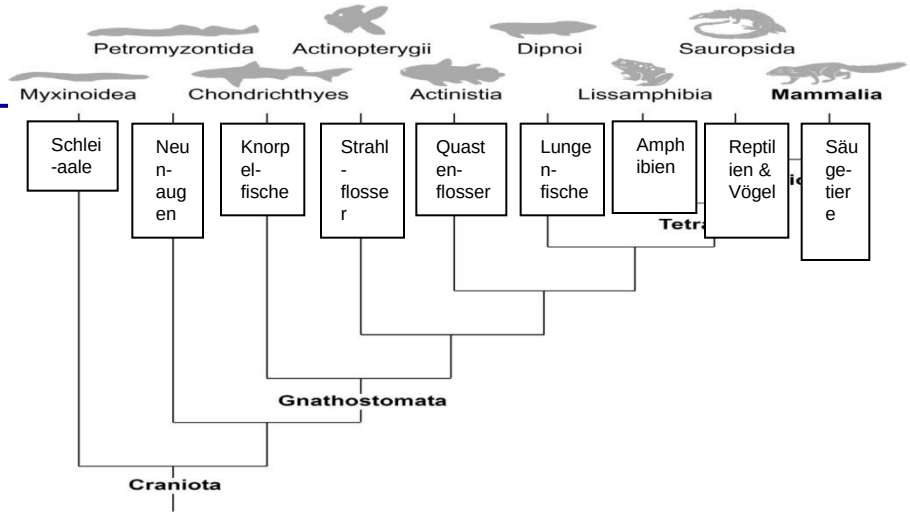
direkte Entwicklung

Eleutherodactylus coqui

© Alexander Haas

Craniota (Schädeltiere)

- **Zur traditionellen Systematik**



1. Agnatha (Kieferlose)

1.1 Cyclostomata (Rundmäuler)

Myxinoidea (Schleimaale) und Petromyzonta

2. Gnathostomata (Kiefermünder)

2.1 „Pisces“ (Fische)

Chondrichthyes (Knorpelfische)

Osteichthyes (Knochenfische)

Anamnia:
Pisces + Amphibia

2.2 Tetrapoda (Vierfüßer, Landwirbeltiere)

Amphibia (Lurche)

„Reptilia“ (Kriechtiere)

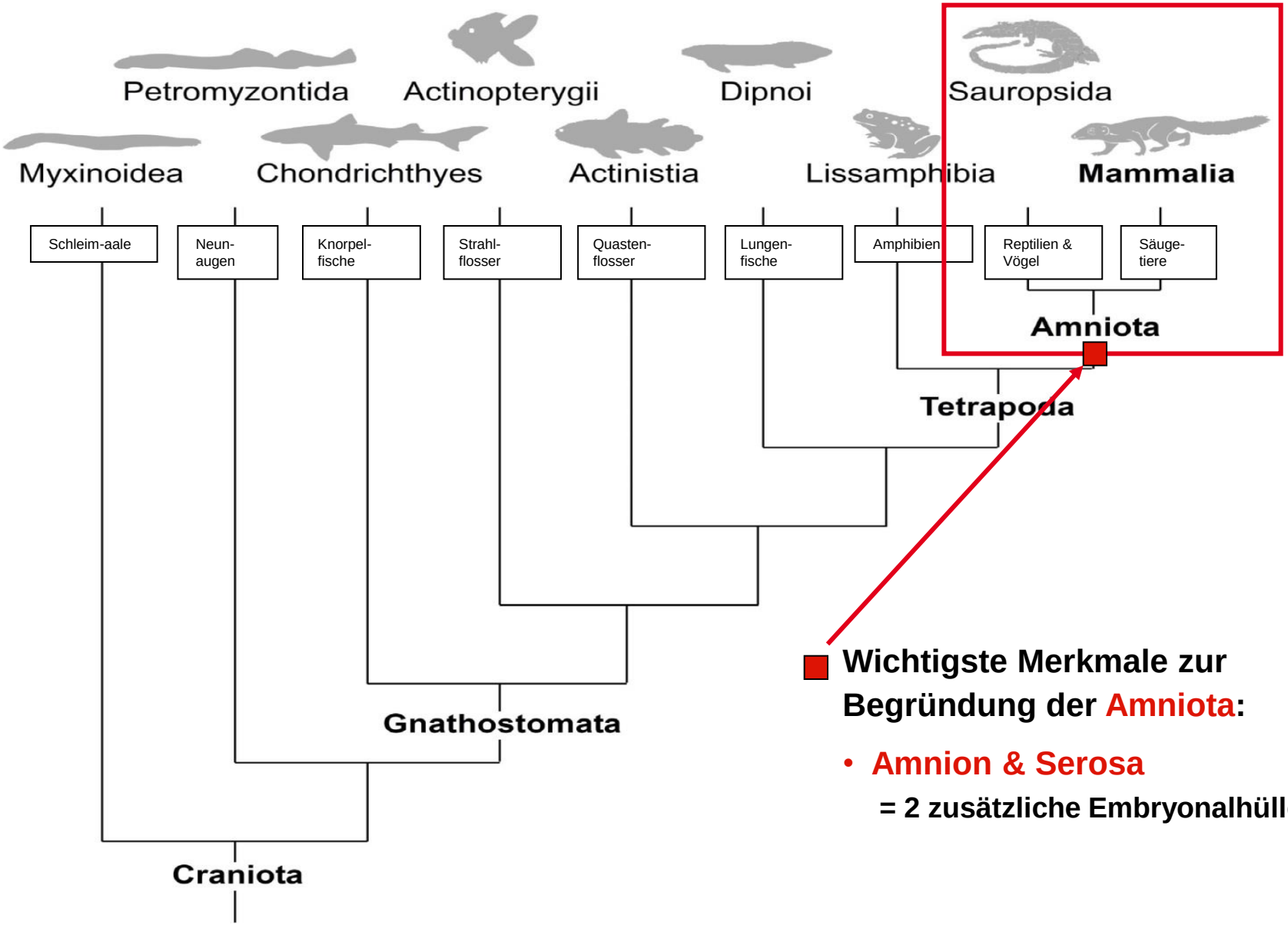
Aves (Vögel)

Sauropsida

Amniota

Mammalia (Säugetiere)

Amniota (Nabeltiere)



Wichtigste Merkmale zur Begründung der Amniota:

- **Amnion & Serosa**
  = 2 zusätzliche Embryonalhüllen

Amniota (Nabeltiere)

- **Wichtigste Merkmale zur Begründung der Amniota:**

  Amnion & Serosa = 2 zusätzliche Embryonalhüllen)

  ***amnós*, gr. = das Schaf / *ámnion*, gr. = Schafhaut**

- Amnionbildung
- harte Eischale
- dotterreiche Eier
- meroblastische (partielle) Furchung
- Harnsäurebildung (wasserlöslicher Harnstoff würde im Ei zu Vergiftung führen)
- Allantois: embryonale Harnblase
- Wegfall der Metamorphose / keine freien Larven
- zwei oder mehr Halswirbel
- Atlas-Axis-Komplex (1. + 2. Halswirbel)
- Reduktion der Carpalia und Tarsalia
- Ausbildung von echten Krallen
- Niere in Form der Nachniere (Metanephros)